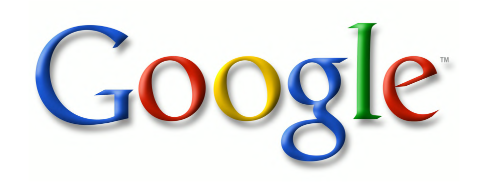
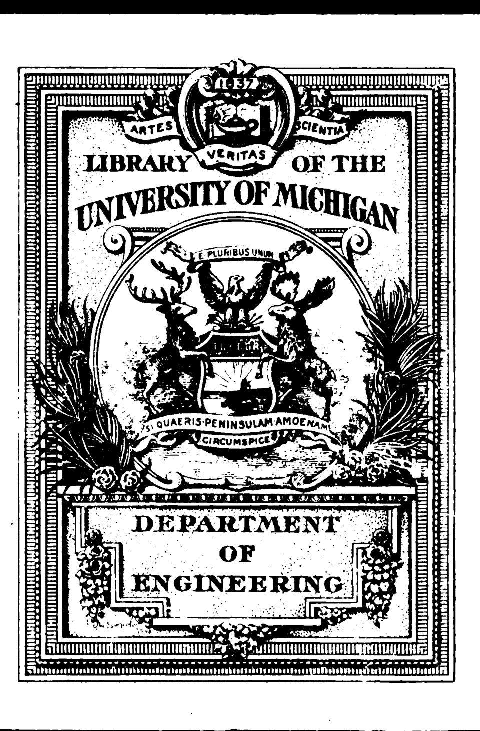
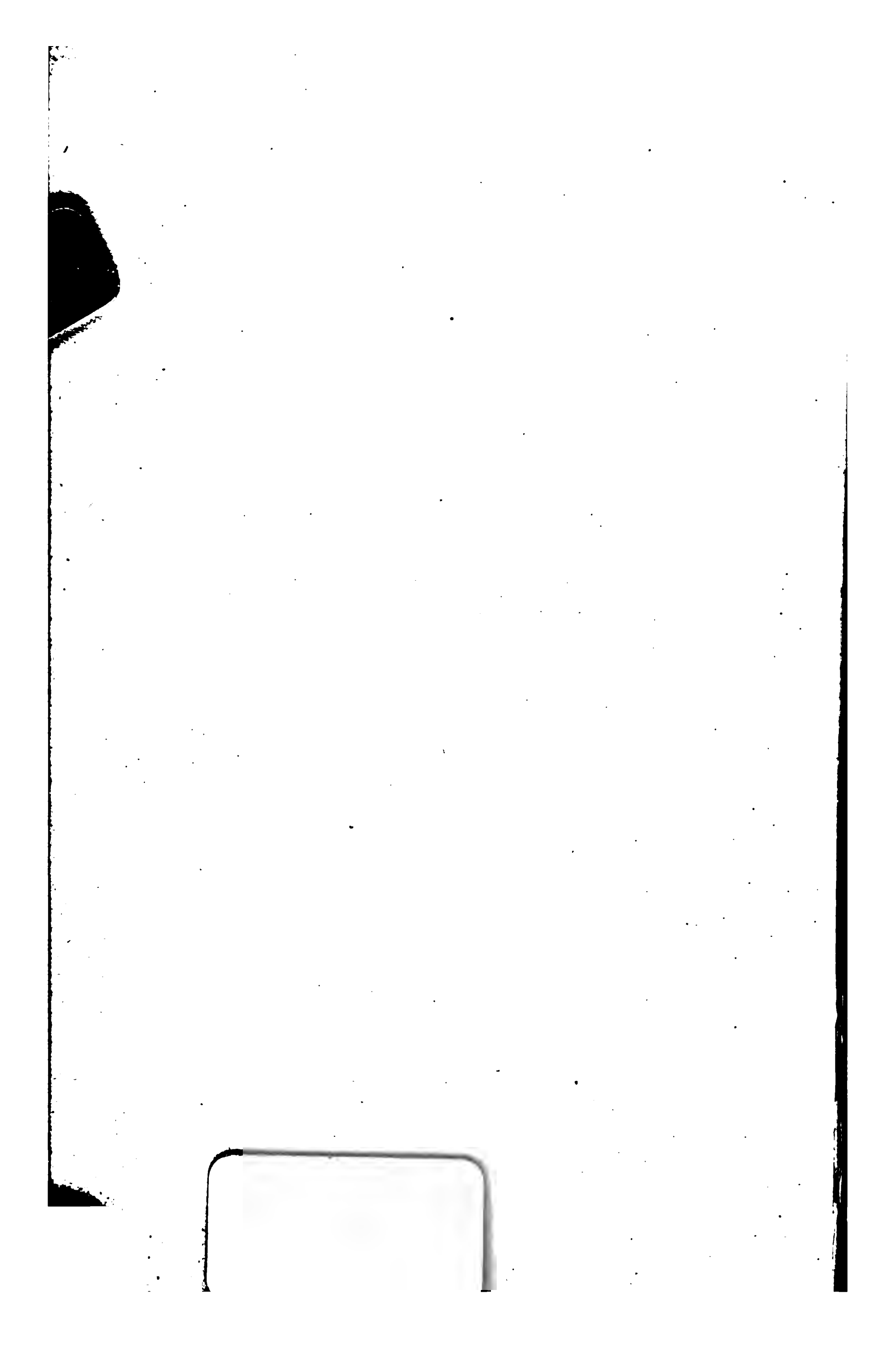



1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING



LA

TÉLÉGRAPHIE DUPLEX

THÉORIQUE & PRATIQUE

Paris. — Imp. E. BERNARD et Cie, 71, rue La Condamine.

LA

TÉLÉGRAPHIE DUPLEX

THÉORIQUE & PRATIQUE

PAR

J. PEGOT

COMMIS DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES

« Allez en avant, et la foi vous viendra ».
D'ALEMBERT

OUVRAGE
honoré de souscriptions de l'Administration des Postes & Télégraphes en faveur des Bibliothèques.



PARIS

E. BERNARD & Cie, IMPRIMEURS-ÉDITEURS

LIBRAIRIE
53ter, QUAI DES GRds-AUGUSTINS

IMPRIMERIE
71, RUE LA CONDAMINE 71

1892

PRÉFACE

Bien que la ***Télégraphie duplex*** donne d'excellents résultats depuis plusieurs années, les agents des postes et des télégraphes s'accordent à reconnaître, que les principes sur lesquels elle repose, n'ont pas encore été exposés avec une clarté suffisante, ni avec les développements nécessaires.

Les notes que j'ai eu l'occasion de communiquer à plusieurs de mes Collègues, sur cette importante partie de la Télégraphie, les ont vivemest intéressés, et m'ont engagé à les publier.

Désireux de donner satisfaction à leurs conseils aussi obligeants que flatteurs, je les ai revues, complétées, et réunies sous le titre de ***Télégraphie duplex***.

J'offre donc ce modeste et petit traité aux jeunes Commis des Postes et des Télégraphes, avec l'espoir qu'ils voudront bien lui faire un accueil favorable, si, comme je le crois, sa publication comble une lacune parmi les nombreux traités de Télégraphie qui ont paru.

Ce travail n'est pas l'exposition de nouveaux systèmes de transmission duplex : je me suis proposé seulement de présenter, sur un plan très méthodique, et d'une manière aussi claire et aussi simple que possible, au double point de vue théorique et pratique, les procédés adoptés pour ce nouveau mode de transmission par l'Administration française.

Cet ouvrage ne s'adresse pas seulement aux Agents de l'Administration : l'usage de la Télégraphie, est tellement répandu aujourd'hui, que toute personne, soucieuse de s'instruire, éprouve le besoin d'en connaître les principes, et les appareils employés pour les

transmissions, et surtout de se tenir au courant des progrès réalisés chaque jour dans ce service, qui est la plus merveilleuse des sciences physiques.

J'ose donc espérer que les personnes, étrangères à l'Administration, voudront bien lui réserver le bon accueil que je lui souhaite, et me donner ainsi un encouragement précieux, et un témoignage sensible de son utilité.

TÉLÉGRAPHIE DUPLEX

INTRODUCTION

I. — Utilité et organisation de la Télégraphie.

1. — S'il n'entre pas dans notre cadre de faire l'historique de la Télégraphie, nous croyons toutefois utile d'esquisser en quelques mots l'organisation de cet important service, qui est une des conceptions les plus heureuses de l'esprit humain, et une des plus merveilleuses inventions de ce siècle.

Les progrès de ce nouveau mode de correspondance ont suivi pas à pas ceux qui ont été réalisés dans les sciences physiques : ce n'est qu'après que les lois et les principales propriétés de l'*électricité* ont été bien connues, que la télégraphie a progressé rapidement, et a donné de bons résultats.

Elle rend actuellement d'immenses services à tous les degrés de la vie sociale : les télégrammes d'intérêt gouvernemental sont rapidement transmis aux points les plus éloignés de chaque État et aux contrées les plus lointaines du globe. La Télégraphie est l'auxiliaire indispensable du service des chemins de fer, des armées en campagne; elle joue un rôle dont l'importance s'accroît de plus en plus dans les relations commerciales, industrielles, agricoles; elle entretient et facilite les rapports entre les familles. On est si familiarisé aujourd'hui avec ce nouveau mode de correspondance, qu'on en fait usage pour les choses les plus ordinaires de la vie.

Aussi ce service a-t-il pris rapidement la plus grande extension sur toutes les contrées du monde civilisé.

Non seulement dans chaque État les principales villes correspondent entre elles, et celles-ci sont elles-mêmes reliées avec tous les bourgs environnants jusqu'aux villages de quelque importance, mais encore tous les États des divers continents communiquent entre eux par des *lignes terrestres*, *des câbles souterrains*, ou des *lignes sous-marines*. De sorte qu'aujourd'hui presque toutes les parties de la terre habitée sont reliées entre elles, sans aucune interruption, par des fils conducteurs, qui permettent l'envoi de la pensée en tous sens, en tous lieux, et desservent par conséquent les villes, les bourgs ou villages les plus éloignés du globe, comme les plus rapprochés.

2. — Si tous les bureaux télégraphiques étaient pourvus d'appareils semblables, on pourrait donc faire communiquer directement entre eux deux bureaux quelconques d'une même contrée, ou même du globe, au moyen de communications directes et de *translations* convenablement établies. Mais ce mode de transmission serait inapplicable à tous les bureaux d'un seul État, et, à plus forte raison, à tous les bureaux de la terre, à cause de l'encombrement qui en résulterait. On ne pourrait y suppléer qu'en établissant un nombre considérable de *conducteurs* dont les dépenses de pose et d'entretien seraient hors de toute proportion avec les ressources disponibles ou réalisables.

Dans les relations internationales, on ne met en *communication directe* et *permanente* que les principales villes; et, dans chaque État, que les bureaux qui ont un assez grand nombre de télégrammes à échanger entre eux.

C'est ainsi qu'on centralise les transmissions dans un certain nombre de villes que désigne l'importance de leurs relations sociales, industrielles ou commerciales, ou leur situation géographique, et dont les bureaux sont appelés pour cette raison *centres de dépôt*.

Ces bureaux reçoivent les télégrammes originaires ou à destination de tous les bureaux qui les environnent. Par exemple, un télégramme de Libourne pour Pont-à-Mousson sera d'abord transmis à Bordeaux; de Bordeaux à Paris; de Paris à Nancy, qui le réexpédiera à Pont-à-Mousson.

II. — Moyens d'améliorer les procédés de transmission.

3. — Par suite de la création incessante de nouveaux bureaux, et de l'usage de plus en plus fréquent du service télégraphique, le nombre des télégrammes qui transitent par les centres de dépôt est actuellement considérable. Cet encombrement nuit beaucoup à leur rapide transmission : d'où la nécessité de perfectionner les appareils dont on fait usage et les procédés de transmission.

4. — Pour contribuer, dans la mesure de nos faibles ressources, au succès de ces recherches, nous nous proposons d'exposer parmi ces *procédés celui* qui permet d'obtenir, avec les appareils actuels et les conducteurs existants, et, par conséquent, sans surcroît de dépenses pour l'Administration, un rendement de transmissions double de celui qu'on réalise dans un temps déterminé avec le système de simple communication et transmission, généralement employé d'un bureau à un autre.

5. — Disons d'abord que la conception du nouveau mode de transmission que nous allons exposer parut à son origine si contraire aux usages suivis dans le travail télégraphique, qu'on fût tenté de croire à une mystification.

6. — Les recherches, dans cette voie, commencèrent dès que la Télégraphie fût bien organisée.

C'est à Gintl, de Vienne, que revient l'honneur des premiers efforts tentés pour résoudre ce problème : il expérimenta plusieurs fois son procédé en 1853, sur la ligne d'Amsterdam à Rotterdam, mais il n'obtint qu'un succès d'encouragement.

De nouveaux essais furent repris un peu partout, notamment en Angleterre : mais, en raison de l'état imparfait des lignes, du peu de précision des appareils, et de l'imperfection du mode particulier d'installation nécessaire en pareil cas, les résultats obtenus ne furent pas satisfaisants ; de sorte que ce nouveau système de transmission fut considéré comme ingénieux, mais sans utilité pratique.

Il serait tombé dans l'oubli, si M. Stearns, en Amérique, n'avait appelé de nouveau l'attention sur lui : il reprit la *méthode* de Gintl, qui avait déjà reçu de nombreuses améliorations, et, avec les perfectionnements qu'il y apporta, son application se fit avec le meilleur succès.

7. — Ordinairement, le travail s'effectue dans les bureaux télégraphiques qui se correspondent de manière que, lorsque l'un d'eux transmet un ou plusieurs télégrammes à l'autre, celui-ci apporte exclusivement ses soins à les recevoir, et *vice versa*.

En appliquant le procédé que nous avons en vue, deux bureaux, étant reliés par un seul conducteur, et desservis par des appareils semblables, peuvent transmettre et recevoir simultanément les télégrammes à échanger entre eux.

8. — Ce nouveau procédé, ou *méthode de transmission simultanée*, est connue sous le nom de *duplex :* car il a pour effet de doubler le rendement d'un fil en permettant la transmission de deux télégrammes à la fois l'un dans un sens et l'autre dans le sens opposé.

9. — Cette idée, avons-nous dit, étonna d'abord, et paraît encore peu compréhensible, si l'on considère le mode de transmission simple ordinairement employé.

Examinons, en effet, comment se fait ordinairement le travail des bureaux télégraphiques.

Lorsque deux bureaux A et B (fig, 1) sont reliés entre eux, leur installation comprend nécessairement :

1° Une *pile* P ou P', qui produit l'électricité, et dont les effets sont utilisés sous le nom de *courant électrique*, ou simplement *courant :*

2° Un appareil M ou M', appelé *manipulateur*, et destiné à distribuer convenablement l'électricité pour la production du courant ;

3° Un appareil G ou G', appelé *galvanomètre*, qui indique le passage du courant, et permet d'en évaluer les variations ;

4° Un fil *conducteur* ou *ligne* L, qui relie les bureaux A et B, et qui porte ou conduit le courant du bureau où il est émis au bureau correspondant ;

5° Un appareil R ou R', appelé récepteur, sur lequel agit le courant, en y produisant les effets mécaniques qui concourent à la

formation des signaux destinés à reproduire les correspondances échangées entre les bureaux A. et B.

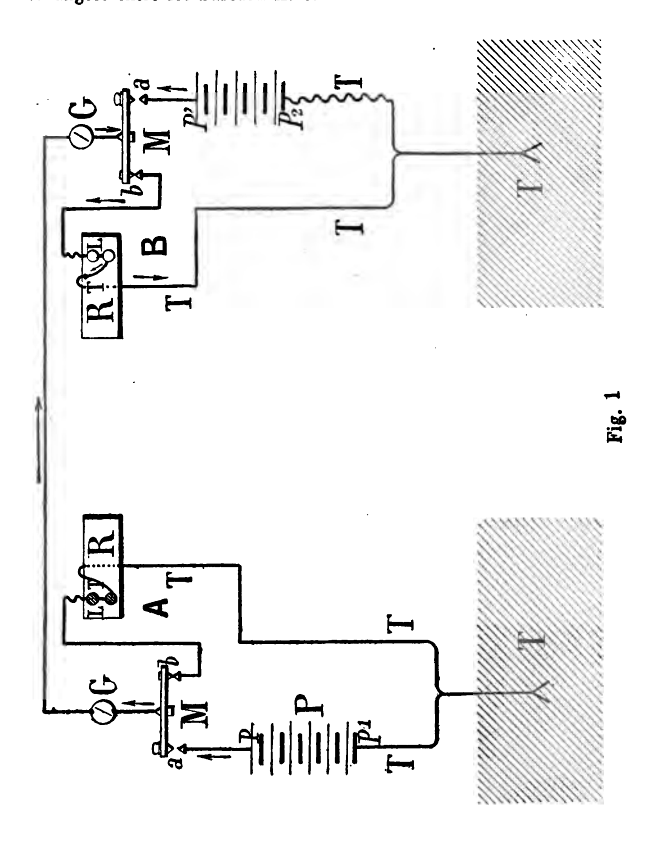


Fig. 1

Dans toute *source* d'électricité ou *pile*, il y a toujours deux points ou *pôles* entre lesquels il existe une différence maximum de potentiel. Pour que la pile produise ses effets, il faut et il suffit que ses deux pôles soient mis en contact ou réunis par un conducteur, ou qu'ils soient l'un et l'autre reliés à la terre.

Dans l'installation des bureaux A et B, nous voyons que les pôles de leurs piles p^1 et p^2 communiquent avec la terre, et que les autres, p et p, peuvent être mis en communication avec les manipulateurs M et M', qui à leur tour sont reliés à la terre par la ligne L et le récepteur du bureau correspondant.

Il suffit donc de manœuvrer convenablement l'un des manipulateurs pour donner naissance au courant, qui parcourra la ligne L, et actionnera le récepteur placé à son extrémité, où il se perdra à la terre.

Supposons, par exemple, que les bureaux A et B soient desservis par des appareils Morse : quand l'agent du bureau A veut transmettre un télégramme à son collègue du bureau B, il appuie le levier du manipulateur M sur le contact d'émission ou de pile *a*, et le circuit ainsi établi avec la ligne, est aussitôt interrompu au point de réception *b*; de sorte que pendant qu'il envoie un courant sur la ligne, son récepteur est en même temps séparé du circuit : il ne peut donc recevoir aucun signal du bureau B pendant la durée de cette opération.

Le récepteur du bureau B, au contraire, faisant partie du circuit d'émission, sera actionné par ce courant, et formera les signaux envoyés du bureau A : en effet, le courant arrivé au manipulateur M', qui est en contact, à l'état de repos, avec le point *b'* ou de réception, ira au récepteur R', et de là à la terre.

Le résultat serait inversement le même, si l'agent du bureau B transmettait au bureau A.

Les bureaux ainsi installés ne peuvent donc effectuer leurs transmissions qu'alternativement. Il en serait de même si l'on faisait usage, dans les mêmes conditions, de l'appareil à *cadran*, *Hugues*, *Wheatstone*, etc.

Voyons ce qui se passerait, si nous mettions les récepteurs des bureaux A et B en communication permanente avec la ligne, ou, en d'autres termes, si nous les intercalions dans le circuit (fig. 2).

Lorsque l'un des deux bureaux A, par exemple, enverrait le courant sur la ligne, son appareil serait actionné en même temps que celui de son correspondant B, et reproduirait les signaux envoyés au *départ* et à l'*arrivée*, et *vice versa*.

Dans le cas où les deux bureaux transmettraient en même temps, les deux courants envoyés étant contraires, se neutraliseraient s'ils étaient égaux et de même nature (*positifs* ou *négatifs*), et aucun appareil ne fonctionnerait; ou celui des deux courants qui

l'emporterait sur l'autre, s'ils n'étaient pas de même force, produirait seul ses effets. Si les courants étaient de nature différente, ils s'ajouteraient, et les récepteurs des deux bureaux seraient actionnés; mais, les signaux formés dans ces conditions, seraient irréguliers, illisibles et n'auraient aucun sens; il serait donc indispensable, même avec ce nonvel *arrangement*, d'alterner le travail des transmissions.

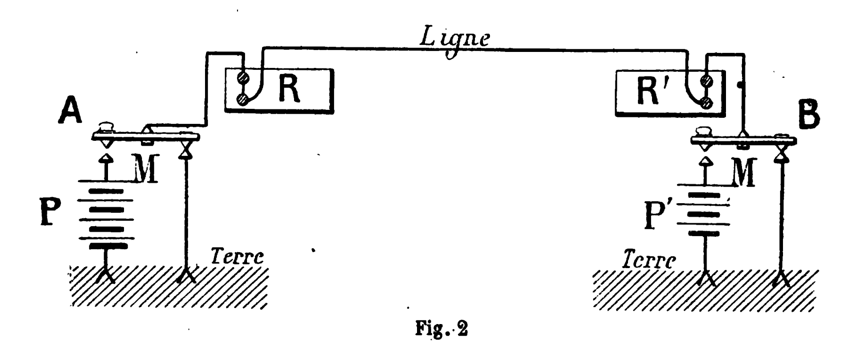


Fig. 2

10. — Cependant, on conçoit que si, dans ces derniers cas, on pouvait disposer le récepteur de chaque bureau, tout en le comprenant dans le circuit de la ligne, de manière qu'il fût insensible au courant de *départ*, et qu'il ne fonctionnât que sous l'action du courant d'arrivée, les signaux seraient régulièrement reçus par chacun d'eux : on a obtenu ce résultat en modifiant légèrement les récepteurs et le circuit à l'intérieur des bureaux appelés à l'application de ce nouveau mode de correspondance.

L'installation des appareils en *duplex* peut se faire de deux manières ou *méthodes :* la *méthode différenticlle*, et la *méthode du pont de Wheatstone.*

11. — Rappelons que le service en *duplex* peut fonctionner avec tous les genres d'appareils *électro-magnétiques* employés dans les télégraphes, sans qu'il soit nécessaire de modifier en rien leur mode particulier de manipulation.

12. — On appelle appareils *électro-magnétiques* ceux dont

la partie principale ou organe consiste dans un ou plusieurs *électro-aimants.*

On sait que ceux-ci acquièrent les propriétés *magnétiques* pendant que le fil métallique, recouvert de soie et enroulé en hélice, qui en fait partie, est parcouru par un courant électrique, et qu'il les perdent à l'instant où le courant cesse.

PREMIÈRE PARTIE

MÉTHODE DIFFÉRENTIELLE

CHAPITRE PREMIER

Exposition Théorique.

SECTION I.

I. — Définitions.

13. — On appelle *duplex*, avons-nous dit (8), le procédé de transmission qui permet, à deux bureaux qui se correspondent, d'échanger simultanément leurs télégrammes; de sorte que chacun de ces deux bureaux transmet à l'autre ses télégrammes pendant qu'il reçoit ceux de ce dernier par le même conducteur, qui les ralie entre eux.

Ce système offre donc le grand avantage de doubler le rendement d'une ligne.

14. — *Duplexer* deux ou plusieurs bureaux qui se correspondent, c'est donc les disposer de manière qu'ils puissent échanger simultanément leurs télégrammes de part et d'autre.

On dit aussi *duplexer* une ligne, en sous-entendant que les bureaux qu'elle dessert sont installés pour le service des communications simultanées dans les deux sens.

II. — Notions préliminaires.

15. — Lorsqu'un fil métallique AB (fig. 3 et 4), recouvert d'une matière isolante, de soie ou de coton, est enroulé en *hélice*, et traversé par un courant, si l'on place dans l'axe de l'hélice un barreau de fer doux, celui-ci s'aimante, et les deux pôles d'un aimant s'y manifestent sensiblement.

Le pôle *austral* est figuré par la lettre *a*, et le pôle *boréal* par la lettre *b*.

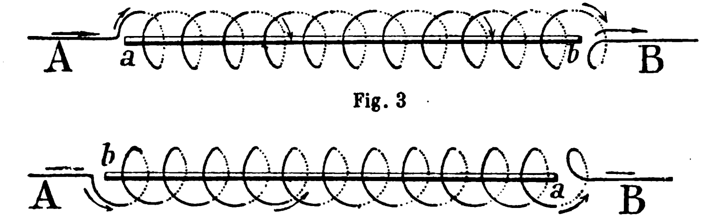


Fig. 3

Fig. 4

a. La nature des pôles dépend, non du *sens* de l'enroulement du fil AB, mais bien du sens du courant qui circule autour de l'axe de l'hélice.

Le sens du courant a lieu de *droite* à *gauche* (fig. 3), ou de *gauche* à *droite* (fig. 4). Dans le premier cas, le courant détermine dans le barreau le pôle *austral* ou *a*, à l'extrémité qui avoisine son entrée dans l'hélice, et le pôle *boréal* ou *b*, du côté de la sortie. Dans le second cas, les pôles sont inversement placés.

C'est la conséquence de la *règle* d'Ampère sur l'orientation magnétique qui résulte de l'action des courants sur les aimants, et plus particulièrement sur une aiguille aimantée, qui s'écarte de sa position d'équilibre à l'approche d'un conducteur traversé par un courant.

Supposons qu'un observateur soit couché sur le conducteur, regarde l'aiguille, et que le courant circule dans le conducteur dans la direction des pieds à la tête de l'observateur : le *pôle austral*

de l'aiguille se portera toujours à la gauche de l'observateur, qu'on appelle aussi la *gauche du courant*.

b. Par suite, il est clair que si le courant entrait dans les hélices (fig. 3 et fig. 4) par le point B, la polarité du barreau serait inverse de la précédente.

c. Si l'on place le barreau de fer doux dans l'intérieur d'une bobine A B (fig. 5), qui peut être en bois, en ébonite ou même métallique, et que le conducteur recouvert de soie que doit parcourir le courant soit placé en hélice autour de la bobine, les mêmes phénomènes se produiront au passage du courant, et suivant le sens de sa direction.

Remarquons que l'hélice, qui prend nécessairement la forme extérieure de la bobine, se nomme également *bobine*.

d. Une bobine, semblable à la précédente (fig. 5), est une *bobine* ordinaire, et le barreau qui la traverse suivant l'axe de l'hélice, se nomme *noyau*.

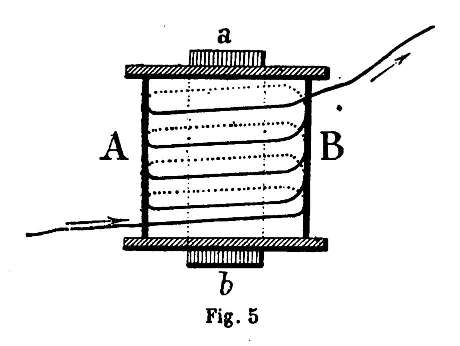


Fig. 5

f. Mais, au lieu d'enrouler un seul fil métallique, et dans le même sens, autour de la bobine AB. il est évident qu'on pourrait prendre deux fils *c* et *d* (fig. 6), et les enrouler en *sens inverse*.

Relions les extrémités inférieures des hélices *c* et *d* au manipulateur M, et les extrémités opposées à la terre.

Si l'on met le manipulateur M sur le contact de pile, un courant sera émis, et, arrivé au point F, se partagera en deux parties, qui suivront, l'une l'hélice *c*, et l'autre l'hélice *d* pour se rendre à la terre.

D'après ce qui précède (15, *a*), le courant qui traversera l'hélice *c* déterminera un pôle austral à la partie supérieure du barreau, et un pôle boréal à la partie inférieure. Le courant qui traversera

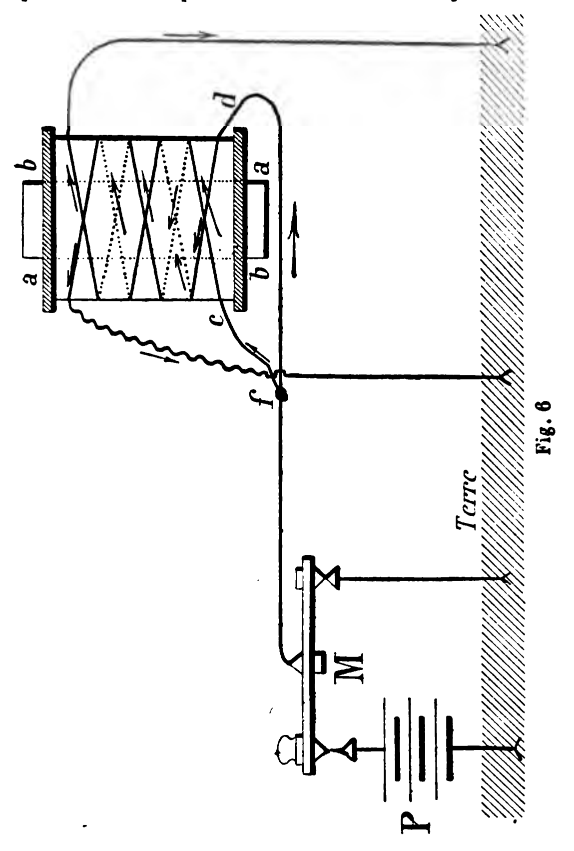


Fig. 6

l'hélice *d*, dont la direction est inverse de celle du premier, c'est-à-dire de gauche à droite (15, fig. 4), produira aux extrémités du barreau ou *noyau* des pôles contraires aux précédents, ou *b* et *a*.

g. La *force magnétique* développée dans le noyau de la bobine,

sous l'influence du courant, dépend, entre autres causes, de l'*intensité* du courant, et lui *est proportionnelle*, et du nombre de *tours* ou *spires* que comprend l'hélice parcourue par le courant.

Or, l'intensité d'un courant est *proportionnelle* au *potentiel*, ou à la *force électromotrice* de la pile, que nous supposons, de même que dans tous nos exemples, être une *pile* à *courant constant*, et en *raison inverse* de la *résistance* du circuit : donc, selon que les circuits *c* et *d* parcourus par les courants qui traverseront les hélices de la bobine auront une résistance *égale* ou *inégale*, les courants auront la même intensité ou une intensité différente.

Dans les premiers cas, les courants produiront sur le noyau de la bobine des *effets magnétiques égaux et contraires* qui se *neutraliseront*, ou, en d'autres termes, le noyau de la bobine ne sera pas aimanté; dans le second cas, le courant, dont l'intensité sera plus grande, aimantera le noyau avec une force proportionnelle à la différence d'intensité des deux courants. Quant à la nature des pôles qui se produiront aux extrémités du noyau, elle dépendra du sens du plus fort courant (15, *a*, *b* et *c*).

Si nous admettons que le courant, qui parcourra l'hélice *c*, l'emporte sur celui qui traverse l'hélice *d*, le noyau de la bobine sera donc *aimanté;* le pôle boréal ou *b* sera en bas du noyau, c'est-à-dire du côté de l'entrée du courant, et le pôle austral ou *a* du côté de la sortie.

h. Une bobine, établie dans les conditions qui précèdent, est appelée *bobine différentielle*, parce qu'elle permet de distinguer la *différence* de *force* ou d'*intensité* qui existe entre deux courants.

i. Un *galvanomètre*, formé d'après les mêmes principes, possède des propriétés identiques, et se nomme *galvanomètre différentiel*.

j. Quand une tige de fer doux est entourée d'une bobine de fil métallique recouvert de soie, ou d'une matière isolante quelconque (fig. 5 et fig. 6), elle est appelée *électro-aimant*.

La tige ou noyau s'aimante au passage d'un courant dans la bobine; la nature des pôles du noyau dépend, comme pour le noyau d'une bobine simple (fig. 3 et 4), du sens du courant.

k. Les électro-aimants prennent les formes les plus diverses; ceux, dont on fait usage en Télégraphie, se composent de deux tiges ou noyaux cylindriques, A et B, de fer doux, vissés dans une traverse T du même métal, appelée *culasse* (fig. 7).

Les bobines et les noyaux sont séparés par un cylindre métallique appelé *carcasse;* le fil, qui sert au passage du courant, est enroulé autour de chaque carcasse : ce sont les *hélices* de l'électro-aimant. Elles sont libres à la partie inférieure pour se rattacher de part et d'autre au circuit, et son soudées par l'autre extrémité à la partie supérieure de chaque carcasse, de sorte que le courant, en quittant la première hélice, traverse la carcasse, puis la culasse, d'où il rejoint la seconde hélice.

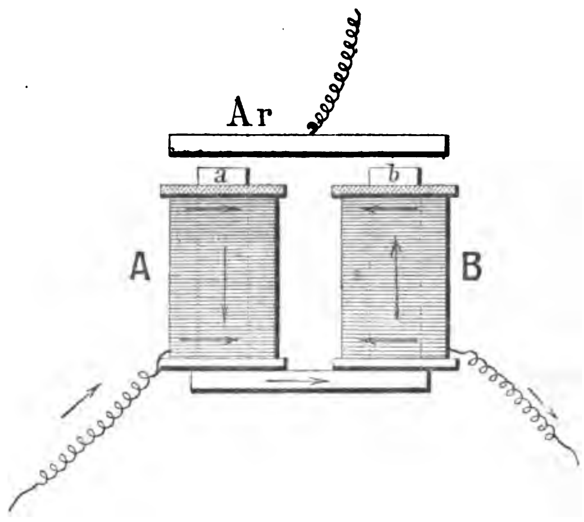


Fig. 7

L'enroulement des hélices se fait dans le même sens dans les deux bobines; mais le courant parcourt la seconde en sens inverse de la marche suivie dans la première, ainsi que l'indiquent les flèches de la figure 7et figure D ci-dessus. Par suite, il se produit toujours au passage du courant, aux *extrémités libres* des noyaux des bobines, deux pôles de noms contraires.

Une traverse en fer doux *Ar*, appelée *armature*, est maintenue au-dessus des noyaux de l'électro-aimant des appareils télégraphiques, et peut s'en rapprocher ou s'en éloigner suivant la disposition de l'électro-aimant dans l'appareil dont il fait partie.

l. Quand le courant passe dans un électro-aimant, il aimante les noyaux (15 *c* et *d*), mais leur aimantation cesse dès que le courant est interrompu.

Cependant, on remarque quelquefois dans un appareil que l'électro-aimant conserve encore un certain degré d'aimantation après le passage du courant, et l'armature est attirée ou repoussée suivant la disposition de l'électro-aimant et la durée de ce phénomène, auquel on donne le nom de ***magnétisme rémanent.***

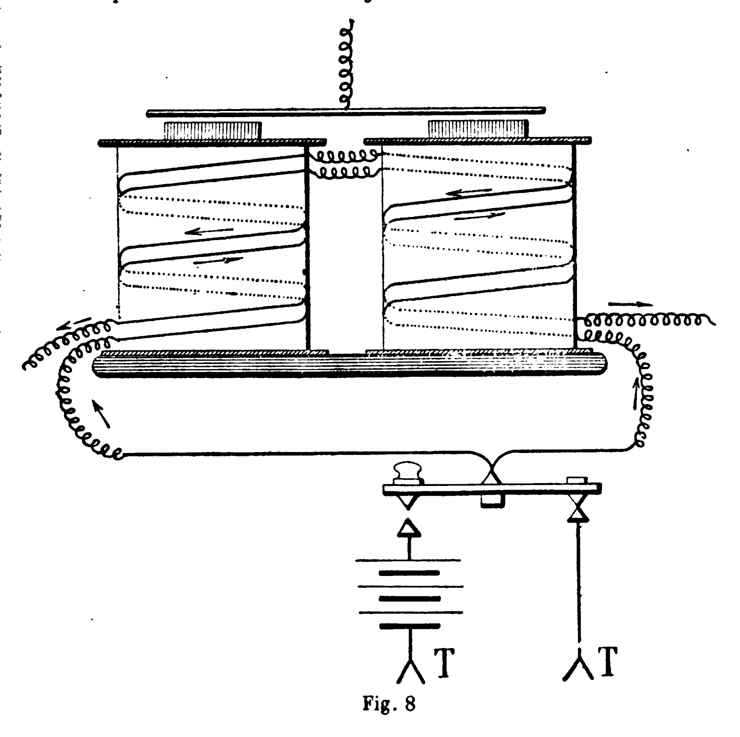


Fig. 8

Le magnétisme rémanent se manifeste parfois au cours des transmissions, et des précautions doivent être prises immédiatement pour le faire disparaître, afin que le service n'en souffre pas.

m. Si, dans un électro-aimant, on remplace les bobines ordinaires par des ***bobines différentielles***, celles-ci communiquent leurs propriétés à l'électro-aimant, qui prend alors le nom d'***électro-aimant différentiel*** (fig. 8).

III. — Installation théorique des bureaux en duplex différentiel.

16. — Pour duplexer les bureaux par la ***méthode différentielle***, il suffit de substituer des électro-aimants différentiels aux électro-aimants ordinaires des appareils dont ils font usage, et de compléter le circuit des bureaux.

Ce problème a donné lieu à de nombreuses solutions; celle que que allons présenter est d'une exactitude rigoureuse, très facile à comprendre, et son application, en France, a déjà donné d'excellents résultats.

Pour l'exposer au double point de vue théorique et pratique, nous prendrons un ***parleur*** (fig. 9), appareil très simple et bien connu, que nous supposons, dans le cas spécial qui nous occupe, formé d'une bobine *différentielle* (fig. 6).

Avec cet appareil, les signaux sont reçus au ***son***, au lieu d'être figurés sur une bande de papier, comme cela se fait avec les appareils généralement employés.

17. — Pour obtenir l'échange simultané et très régulier de deux télégrammes, entre deux bureaux ***duplexés*** par la méthode différentielle ou celle du pont, il faut et il suffit :

1° Que leurs récepteurs soient toujours intercalés dans le circuit de ligne;

2° Que le récepteur de chacun d'eux reste en ***repos***, bien qu'il fasse partie du circuit, pendant le passage du courant de ***départ*** [1];

3° Qu'il fonctionne sous l'influence du courant d'***arrivée*** (*a*);

(*a*) On appelle courant de *départ* celui qu'on envoie au bureau correspondant, et courant d'*arrivée* celui qui est reçu de ce dernier bureau.

4° Que les courants conservent toujours la même intensité pour que le réglage des appareils reste constant.

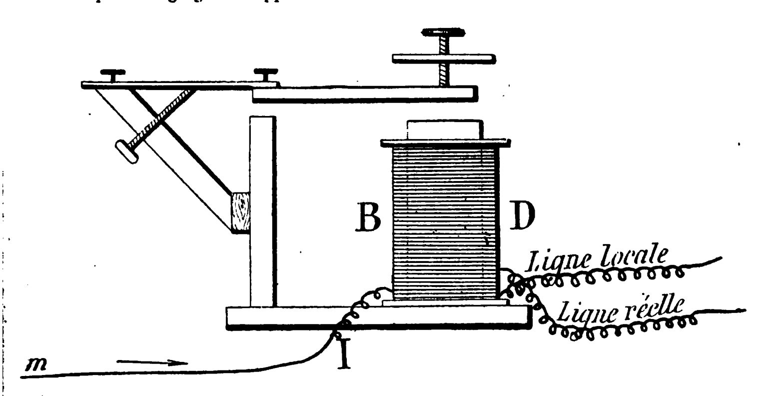


Fig. 9

18. — Dans ces conditions, si un bureau quelconque duplexé, A par exemple, transmet des télégrammes à un bureau B, également duplexé, son récepteur ne sera pas influencé par les courants envoyés à B, tandis qu'il le sera par les courants venant de ce bureau : donc, il poura transmettre des télégrammes à B, et recevoir en même temps ceux de ce dernier bureau, et *réciproquement*.

19. — Pour comprendre comment on peut y parvenir par la méthode différentielle, considérons deux bureaux A et B, et supposons que les communications soient établies comme l'indique la figure 10.

20. — P et P' représentent les piles de A et B. Nous admettons que les deux piles sont identiques, c'est-à-dire composées d'un égal nombre d'éléments semblables, ayant la même résistance, disposées de manière que leurs pôles positifs communiquent avec la ligne, et leurs pôles négatifs avec la terre, et que leurs courants soient d'égale intensité. Nous montrerons plus tard que, si cette condition facilite notre démonstration, elle n'est pas nécessaire pour l'application du système duplex (82 à 92).

21. — La ligne L est mise en communication permanente avec les manipulateurs M et M', et ceux-ci établissent à chaque bureau la communication de la ligne *fLf'*, soit avec les piles P et P', soit avec la terre T', et T, selon la volonté des agents qui les manœuvrent.

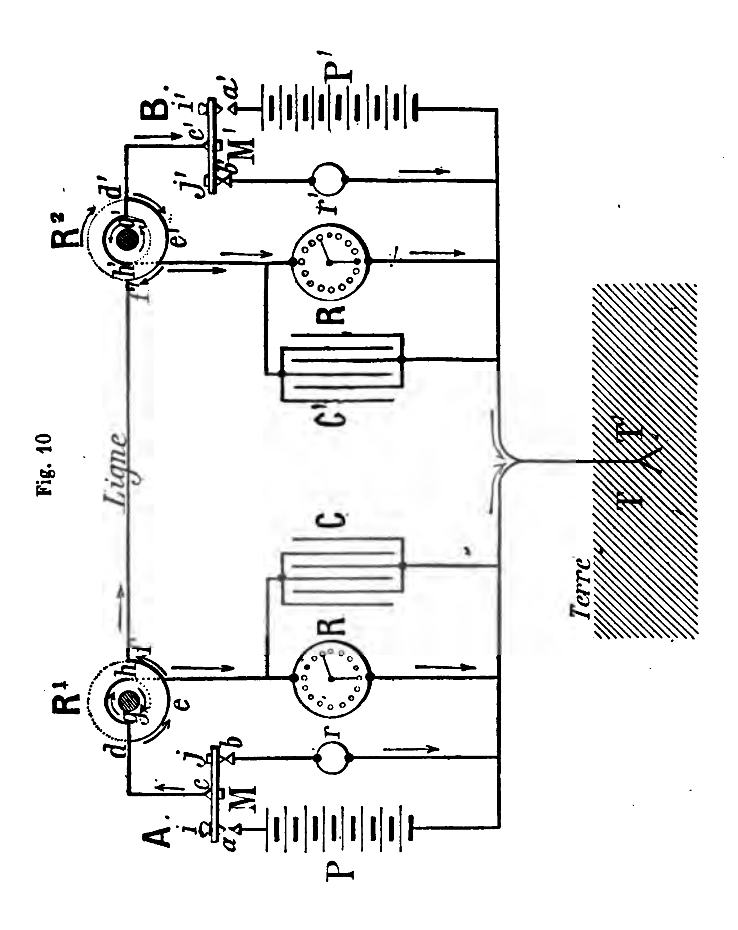


Fig. 10

22. — Les fils *br*T et *b'r'*T' constituent les ***fils* ou *lignes de terre*** des bureaux A et B. Chacune de ces lignes comporte une résistance (*r*, au bureau A, et *r'* à celui de B) intercalée dans le circuit, et égale à la résistance de la pile du bureau.

23. — A l'état de ***repos***, les vis *j* et *j'* des manipulateurs appuient sur les contats *b* et *b'*, qui font partie des lignes de terre, et mettent par conséquent la ligne en communication avec la terre.

Mais il suffit d'une simple pression avec la main sur la poignée *i* ou *i'* du manipulateur M ou M' pour produire un résultat inverse, c'est-à-dire pour intercepter la communication du circuit de terre avec la ligne (*a*), et relier celle-ci à la pile. En effet, appuyant sur la poignée *i*, par exemple, du manipulateur M, la vis *j* et le contact *b* se séparent, et, en même temps, le manipulateur vient presser sur le contact *a*, qui est relié au pôle positif de la pile.

24. — R^1 et R^2 figurent les appareils de réception (*parleurs, cadran, Morse, Hughes, Wheatstone*, etc.), qu'on intercale dans le circuit, entre la ligne et les manipulateurs, près desquels ils sont placés. Pour le moment, nous supposons que R^1 et R^2 représentent deux parleurs, qui sont figurés par une section de leurs électro-aimants différentiels.

25. — Les ***hélices*** de leurs bobines, formées de même métal, ont la même longueur et la même section, et, par conséquent, une égale ***résistance***.

Elles sont enroulées en sens inverse; les unes, ***def*** et ***d'e'f'***, sont figurées par des courbes pleines; les autres, ***dgh*** et ***d'gh'***, sont représentées par des courbes pointillées.

Les hélices du parleur R^1 sont réunies au point *d*, qui communique au manipulateur M par le point *c*; par leurs extrémités opposées, elles sont reliées l'une, à la ligne *f*L*f'*, et l'autre à la terre, au point *h*, par l'intermédiaire du fil *h*RT.

Ces deux hélices font donc partie de deux circuits différents, à partir de leur réunion au point d'attache *d;* l'hélice *def*, reliée à

(*a*) Celle-ci reste en communication permanente avec la terre de chaque bureau au moyen de la ligne *locale* établie dans leurs circuits (25).

la ligne, se nomme ***hélice de ligne***, et l'hélice *dgh*, reliée à la terre, est appelée ***hélice factice, artificielle*** ou *locale*. Le circuit qu'elle complète, *h*RT, se nomme par analogie *ligne factice, artificielle* ou *locale;* elle n'est qu'une ***dérivation*** de la ligne qui relie les deux bureaux correspondants ou la *ligne principale*, et joue un grand rôle, ainsi que nous le verrons plus loin, dans les communications en duplex.

Ces dénominations, que nous reproduisons dans le tableau ci-dessous, s'appliquent également aux ***hélices*** de l'électro-aimant du parleur R^2, et au circuit de dérivation *h'* R' T', établi au bureau B.

Nous verrons bientôt le rôle que jouent les lignes locales dans l'installation et le fonctionnement des bureaux en duplex, et les conditions qu'elles doivent remplir.

26. — ***Tableau synoptique*** des circuits employés dans les communications en duplex.

DÉNOMINATIONS	LETTRES qui les représentent au bureau A	LETTRES qui les représentent au bureau B
1° *Circuits :*		
Circuit de *terre* ou *ligne* de *terre* . .	*br*T	*b'r'*T'
Ligne principale, réelle ou simplement *ligne*	*def*L*f'e'd'*	*d'e'f'*L*fed*
Ligne locale artificielle ou factice. .	*dgh*RT	*d'g'h'*R'T'
2° *Électro-aimants :*		
Hélice de *ligne*.	*def* (1)	*d'e'f'* (1)
Hélice locale.	*dgh* (2)	*d'g'h'* (2)

(1) Les hélices de ligne font partie de la ligne principale dont elles sont le complément.

(2) Les hélices locales complètent les lignes artificielles auxquelles elles sont reliées.

27. — Dans les bureaux montés en duplex, la transmission est

simple ou *simultanée*, ou plutôt *duplex*, selon que les bureaux correspondants transmettent isolément ou en même temps.

La transmission simple présente deux cas que nous allons examiner.

SECTION II.

Transmission simple.

I. PREMIER CAS

Le bureau A transmet seul.

28. — Dans le premier cas, nous supposons que l'un des deux bureaux correspondants, A, par exemple, transmet seul, tandis que B reste dans la position de réception.

Lorsqu'on abaisse le manipulateur M, le contact s'établit en *a*, tandis qu'il cesse aussitôt entre *b* et *j*; un courant part au même instant de la pile P, et, par la communication métallique *aic*, arrive au point *d*, où il se trouve en présence de deux issues ou circuits : l'un, l'hélice *def* et la ligne *f*L*f'*, qui est reliée au bureau B et à la terre T', et l'autre, l'hélice *dgh*, et la ligne locale *h*RT, qui communique également avec la terre en T.

Le courant se partage donc en deux parties : l'une suit l'hélice *def* dans le sens indiqué par la flèche, et l'autre l'hélice *dgh*, dans une direction opposée.

Si ces deux courants sont *inégaux*, le plus grand actionne l'électro-aimant avec une force qui dépend de la *différence des intensités* des courants; si. au contraire, ils sont *égaux*, leur action est nulle sur l'électro-aimant pendant leur passage dans sa bobine, parce qu'ils traversent les hélices de la bobine en *sens contraire*, en même temps, et, qu'étant d'*égale force*, les *effets magnétiques*

égaux et *contraires* qu'ils tendent à produire, se *neutralisent:* le récepteur R' reste donc en repos, condition indispensable pour l'application du système duplex (17,2°).

29. — L'agent du bureau A doit donc disposer le circuit de manière qu'en envoyant le courant, qui se bifurque au point *d*, la partie qui doit parcourir la *ligne réelle*, et celle qui suivra la *ligne locale*, aient la même *intensité* (*a*). Or, tout courant qui se trouve en présence de deux circuits, se partage entre eux ou en deux parties, en raison inverse des résistances des circuits à parcourir : donc, pour que ces deux courants soient d'*égale intensité*, il faut et il suffit que ces deux circuits aient la même résistance.

30. — Par conséquent, pour que les deux courants, qui doivent parcourir la bobine *différentielle* de l'électro-aimant, aient une égale intensité, et que le récepteur ne soit pas *influencé* pendant le passage du courant, tout en restant bien disposé pour recevoir les signaux de B, il faut *égaliser* la *résistance* de la ligne réelle, et celle de la ligne locale.

La résistance de la ligne est toujours relativement grande, tandis que celle de la ligne locale, qui est très courte, est à peu près nulle, si l'on fait abstraction de l'hélice qui la complète : il faut donc augmenter sa résistance de manière à la rendre égale, ou approximativement égale, à celle de la ligne. On y parvient, en intercalant dans le circuit local un *rhéostat* ou une *boîte de résistance*, que nous représentons par R dans le circuit local *h*RT, et au moyen de laquelle on peut faire varier à volonté la résistance de ce circuit, et la rendre égale à celle de la ligne réelle.

Supposons, par exemple, que les résistances des diverses parties du *circuit* de *ligne*, à partir du point *d*, soient établies selon les rapports qui suivent :

Résistance	de l'hélice de ligne de A . .	250	ohms.
—	de la ligne	1600	—
—	de l'hélice de ligne de R'. .	250	—
—	du fil de terre *d'c'j'b'r'*T' (*b*).	350	—
	Total.	2450	ohms.

(*a*) La partie du courant qui suit la ligne est appelée *courant de ligne*, et celle qui se dirige à la terre, par la ligne locale, se nomme *courant local*.

(*b*) Nous supposons que le fil de terre est muni d'une *bobine* de

Or, l'hélice locale de A ou R' aura aussi une résistance de 250 ohms (25) : donc, pour que la résistance de la ligne locale de A soit égale à celle de la ligne, celle qu'il faudra donner au rhéostat R sera de 2450 — 250 = 2200 ohms.

31. — Pour donner à la ligne locale à chacun des bureaux correspondants une résistance égale à celle de la ligne, il n'est pas nécessaire de connaître exactement la résistance de ce dernier circuit. Dans la pratique, on y parvient dans chaque bureau en envoyant le courant sur la ligne : si celle-ci et la ligne locale n'ont pas la même résistance, le courant de ligne et le courant local n'auront pas la même intensité ou la même force, et l'appareil se mettra sur contact sous l'influence de la différence des courants. Pour égaliser les résistances, il suffit d'augmenter ou de diminuer la résistance du rhéostat jusqu'à ce que l'armature du récepteur ne soit plus attirée ou en contact avec le noyau de l'électro-aimant.

Bien qu'à partir de ce moment, l'égalité des résistances soit douteuse, le travail des transmissions s'effectue sans difficulté, c'est-à-dire sans que les signaux en soient altérés. D'ailleurs, si l'équilibre des résistances rigoureusement exact était indispensable, l'application du système duplex présenterait de sérieux obstacles, surtout sous un climat variable, où l'isolement des conducteurs ou lignes subit des modifications fréquentes et très sensibles, et aussi à cause des effets considérables d'*induction* et de *décharge* qui se produisent sur les grandes lignes.

32. — La ligne réelle comprend non seulement le conducteur qui relie A et B, mais encore les circuits établis au bureau B, qui peuvent être parcourus par le courant. Ces circuits sont du reste les mêmes que ceux de A, et sont établis dans des conditions tout à fait identiques : ainsi, le courant de A, qui suit la ligne, arrivé au point *d*, se trouve en présence de deux circuits ; la ligne locale *d'g'h'*R'T, dont la résistance est égale à celle de la ligne et des circuits de A, si le rhéostat de R' est bien réglé, et la ligne ou fil de terre *d'c'j'b'r'*T, dont la résistance est relativement faible : le courant de A suivra donc ce dernier circuit.

---

résistance égale à celle de la pile du bureau : on la supprime généralement dans la pratique.

33. — Les circuits, étant ainsi réglés, le courant de la pile P de A se divisera au point *d* en deux parties d'égale intensité : l'une suivra la ligne réelle ou principale, et l'autre la ligne locale pour se rendre à la terre à l'extrémité de ces deux circuits. Dans ces conditions, aucun signal ne se produira donc au bureau A par l'envoi du courant à son correspondant à travers son propre appareil, tandis qu'il restera bien disposé pour recevoir les signaux de B.

34. — Examinons maintenant comment il se fait que les signaux transmis par A sont reçus par B, son correspondant.

Rappelons d'abord que le bureau B possède une installation tout à fait semblable à celle de A, comme l'indique la figure 10, c'est-à-dire que l'appareil, la pile, le fil de terre, la ligne locale, et le rhéostat de B sont placés et réglés dans des conditions identiques à celles de A.

La partie du courant, envoyée par A, suit la ligne *f*L*f'*, et, au bureau B, traverse l'hélice de ligne *fe'd'* de l'électro-aimant du récepteur R²; arrivée au point *d*, elle se trouve en présence de deux circuits : la ligne locale *d'g'h'*R'T', dont la résistance est égale à celle de la ligne principale, et le circuit de terre *d'c'j'b'r'T'*, qui a une résistance considérablement moindre que celle du premier circuit. Le courant se partage donc entre les deux circuits entre deux parties dont les intensités sont en *raison inverse* de leurs résistances : la plus grande partie du courant s'écoulera donc à la terre à travers le circuit *d'c'j'b'r'*T'.

Les hélices de l'électro-aimant du récepteur R² seront dont parcourues par des courants d'inégale intensité, et en sens inverse; le courant qui suivra l'hélice de ligne et la ligne de terre l'emportera sur celui qui passera par l'hélice et la ligne locales, annulera son effet contraire, et actionnera l'électro-aimant : l'*armature* entrera donc en mouvement, et des signaux seront formés par le récepteur R², qui fonctionnera seul sous l'influence du courant envoyé du bureau A.

II. DEUXIÈME CAS

Le bureau B transmet seul.

35. — Nous avons vu plus haut (34) que le bureau B était installé dans des conditions tout à fait identiques à celles de A.

Par des raisonnements analogues à ceux du cas précédent, nous prouverions :

1° Que le récepteur de B, quand ce bureau transmet, doit rester insensible au passage du courant envoyé qui traverse son électro-aimant pour se rendre au bureau A ;

2° Que A, étant au repos, reçoit régulièrement les transmissions de B, quand celui-ci opère seul.

SECTION III.

Transmission simultanée.

I.— Application générale.

36. — Supposons que A et B transmettent simultanément : les manipulateurs M et M' sont mis en même temps dans la position d'émission par leur pression sur les contacts a et a' ; deux courants partent aussitôt l'un de la pile P et l'autre de la pile P', et sont dirigés sur les récepteurs R^1 et R^2 ; leur passage dans les électro-aimants de ces récepteurs se manifeste par le mouvement de leurs armatures qui ont pour effet de former les signaux destinés à reproduire aux bureaux A et B les télégrammes à échanger entre eux.

37. — Voici comment on obtient cet heureux résultat :

Rappelons d'abord qu'un *courant ne peut s'établir entre deux points* A *et* B *qu'autant qu'il existe entre eux une différence de potentiel*;

D'où il résulte :

1° Que si les deux points observés sont au même potentiel, aucun courant ne peut se produire dans le conducteur qui les met en communication ;

2° Que, si l'on relie les deux extrémités d'un conducteur aux

pôles positifs de deux piles, qui ont le même potentiel, ce conducteur se mettra aussitôt au même potentiel que les piles, mais ne sera parcouru par aucun courant.

38. — Quand les bureaux A et B abaissent leurs manipulateurs sur les contacts d'émission *a* et *a'*, les courants émis sont d'égale intensité ou au même potentiel, puisque les piles P et P' sont elles-mêmes identiques et, par conséquent, au même potentiel, et que les circuits à l'intérieur des deux bureaux sont symétriquement placés et d'égale résistance.

Le courant de la pile P, arrivé au point *d*, se trouve en présence de deux circuits, la ligne locale *dgh*RT, et le conducteur, ou la ligne L, qui relie *d* et *d'*; celui de la pile P' trouve également deux issues au point *d'*, la ligne locale *d'g'h'*H'T'; et la ligne comprise entre *d'* et *d* : la ligne L est donc une voie commune aux deux courants émis.

Ces courants, ayant le même potentiel, les points opposés de la ligne L *d* et *d'*, par la présence de ces courants, seront eux-mêmes au même potentiel : donc, la ligne *dflf'd'*, et les hélices de ligne des électro-aimants des récepteurs R^1 et R^2, qui en font partie (25), ne seront parcourus par aucun courant (37).

39. — Au bureau A, le courant de la pile P, arrivée au point *d*, s'écoulera donc à la terre, à travers l'hélice *dgh* et le circuit *h*RT, qui complète la ligne locale : donc, ce courant actionnera l'électro-aimant du récepteur R^1, et l'armature fonctionnera en formant les signaux envoyés du bureau B.

De même au bureau B, le courant de la pile P', arrivé au point *d'*, se dirige à la terre T' à travers la ligne locale *h'*R'T', et l'hélice à laquelle elle est reliée actionne l'électro-aimant du récepteur R^2, en mettant en mouvement l'armature, qui reproduit les signaux venant de A.

40. — Dans chaque bureau, c'est donc sous l'influence du courant de leur propre pile que sont actionnés les électro-aimants des récepteurs qui les desservent, et que se meuvent leurs armatures pour la formation des signax.

41. — Pour rendre plus sensible l'exposition qui vient d'être faite de la transmission simultanée en ***sens inverse***, soit comme application, l'exemple suivant :

Supposons que les parleurs soint remplacés par des appareils Morse, et que A se mette dans la position d'émission : le récepteur de B sera aussitôt sur contact, et un trait se formera sur la bande; la longeur de ce trait dépendra de la durée du contact.

Si B veut envoyer en même temps des points au bureau A, il manœuvrera son manipulateur en conséquence : à chaque contact qu'il fera à cet effet, il arrêtera le courant de A qui, en actionnant l'électro-aimant du récepteur R', provoquera sur la bande la formation d'un point. Mais A, on ne cessant pas d'envoyer le courant, arrêtera également celui de B, dont l'armature restera sur contact pour continuer le trait commencé.

42. — Au lieu d'un trait, A pourrait donc former à volonté, sur la bande de B les traits et les points nécessaires pour la transmission de ses télégrammes, tout en recevant de B les signaux destinés à reproduire les télégrammes de ce dernier bureau, et *vice versa*. Donc, dans la transmission simultanée et en *sens inverse*, c'est bien le courant de A qui actionne le récepteur R', et qui met son armature en mouvement pour former les signaux que lui envoie son correspondant, et *réciproquement*.

43. — Examinons encore le cas où les bureaux ne commencent pas en même temps les transmissions, celui où leurs contacts sont tantôt simultanés, tantôt séparés, et enfin celui où l'un des deux correspondants transmet plus longtemps que l'autre.

1° Supposons que l'un des deux bureaux, A, par exemple, commence le premier à transmettre : B, étant dans la position de réception, recevra les signaux de A dans les conditions relatives à la transmission simple (28 à 35), et *vice versa*;

2° Lorsqu'ils manipulent en même temps, si leurs contacts se correspondent, les signaux se forment à chaque bureau d'après les effets que produisent les courants dans la transmission simultanée (38) ;

3° Si les contacts sont de durée inégale, la transmission est reçue à chaque bureau, et pour une égale durée, dans les conditions du § précédent; celui des deux bureaux, qui continue le contact, complète son signal au bureau correspondant dans les conditions du § 1° ci-dessus;

4° Enfin, si A continue à transmettre, et que B s'interrompe par intervalles, celui-ci reçoit les signaux de A dans les conditions du § 1er ci-dessus, et *réciproquement*.

II. — Remarques.

44. — Dans l'installation des bureaux en duplex, la ligne locale, avons-nous dit, n'est qu'une *dérivation* de la ligne principale : donc, ce système revient en réalité à transmettre simultanément sur deux lignes avec les mêmes piles, de sorte que, s'il y a utilité à augmenter le potentiel des piles employées, il y a également avantage à les réduire à leur plus petite résistance, qui s'ajoute à celle du circuit.

45. — Le circuit télégraphique comprend non seulement la ligne et les circuits destinés à être parcourus par le courant pour se diriger de la pile du bureau qui transmet à la terre du bureau correspondant, mais encore la pile même qui fournit le courant.

Dans le duplex, les piles des deux bureaux font donc partie du circuit. En théorie, la résistance du circuit, dans l'installation des bureaux duplexés, doit être la même, que le manipulateur soit dans la position de réception ou d'émission, et que la pile soit ou non dans le circuit.

Lorsque le manipulateur de A ou B est appuyé sur le contact *a* ou *a'*, la pile est mise dans le circuit dont il augmente la résistance. Pour que les conditions d'équilibre ne soient pas sensiblement modifiées, quand les manipulateurs M et M' passent de la position de réception à celle de transmission et inversement, on intercale entre les contacts de terre ou de repos *b* et *b'* et la terre T et T' des résistances *r* et *r'*, qui représentent approximativement la résistance des piles P et P'.

Toutefois, si ces résistances ont lenr utilité, surtout dans une installation théorique, elles ne sont pas indispensables dans l'exploitation en duplex d'une ligne ordinaire; généralement on les supprime dans la pratique.

46. — Lorsque l'un ou l'autre des manipulateurs M et M' passe de la position de réception à celle d'émission et réciproquement, il y a un moment très court pendant lequel la ligne est isolée pour le courant d'arrivée aux points *ij* ou *i'j'*, selon le manipulateur qui entre en jeu.

Supposons que A envoie le courant à l'instant où le manipula-

teur M' de B soit ainsi isolé : le circuit de la ligne est modifié; le courant de A se partage en deux parties au point *d*, l'une suit la ligne locale *dgh* RT, et l'autre la ligne *def* L *f'éd'*. Ce dernier courant étant arrêté au point *d'*, puisque la ligne de terre C' *j'b'r'* T est isolée au point *j*, traverse l'hélice locale *d'g'h'* et le circuit de terre *h'* R'T'.

Il passe donc dans les deux bobines de l'électro-aimant du récepteur R^2, mais dans le même sens; son action serait double si, d'un autre côté, son intensité n'était diminuée de moitié par suite de la ligne locale *d'g'h'* R'T', qu'il traverse pour se rendre à la terre, et dont la résistance est égale à celle du circuit déjà parcouru pour arriver au point *d'* : par conséquent, l'effet du courant sur l'électro-aimant du récepteur R^2 est le même, que le manipulateur M' soit isolé ou sur le contact de terre ou de repos *b'*, et les signaux reçus au bureau B n'en subissent aucun trouble.

En outre, pendant que le manipulateur M' est isolé, la résistance de la ligne est égale au double de celle qu'elle a lorsque ce manipulateur est au repos, tandis que la résistance de la ligne locale de A, pendant cet instant d'isolement, n'est que la moitié de la première. Par conséquent, le courant de A se partage au point *d* en deux parties inégales, et le courant local devient prépondérant.

Mais comme le manipulateur passe rapidement pendant la transmission de la position d'émission à celle de réception, l'interruption dure trop peu de temps pour qu'il en résulte un inconvénient appréciable; elle retarde seulement les transmissions, quand la manipulation, au lieu d'être faite à la main, s'effectue avec des appareils automatiques.

Ce que nous venons de dire pour le bureau A, s'applique également au cas où c'est le bureau B qui transmet.

SECTION IV.

Phénomènes électriques qui accompagnent les transmissions.

I. — Notions générales.

47. — Nous avons vu précédemment pourquoi l'équilibre entre la résistance de la ligne principale et celle de la ligno locale était nécessaire pour la télégraphie duplex.

Cet équibre suffit généralement pour assurer le service sur les petites lignes ou les lignes moyennes ne dépassant pas 350 ou 400 kilomètres, à moins que des causes accidentelles n'y apportent un trouble, telles que des *pertes à la terre* dues à l'humidité, aux contacts intermittents des conducteurs avec des branches d'arbres qui, lorsqu'il pleut, établissent des dérivations entre la ligne et le sol; des *variations* de courant produites par des différences de température ou des influences atmosphériques. Leur effet nuisible aux tranmissions télégraphiques augmente naturellement avec la longueur des lignes. Le meilleur moyen de le combattre, au double point de vue du service ordinaire ou en duplex, est d'assurer le mieux possible l'isolement des conducteurs.

48. — Mais il existe d'autres causes susceptibles de troubler les transmissions; quand une ligne atteint 400 kilomètres ou dépasse cette limite, l'équilibre des résistances des circuits devient insuffisant pour la régularité du service; l'état électrique d'une ligne varie, en effet, avec sa longueur et les conditions où elle est établie; il faut donc apporter, dans l'installation de la ligne locale, des améliorations en rapport avec les causes qui le modifient.

49. — Les expériences qui ont été faites sur le mode de propagation de l'électricité prouvent que son mouvement ne se fait pas avec une vitesse constante comme la lumière, ou comme un corps

lancé dans l'espace : cette propagation à travers les corps conducteurs se manifeste au contraire sous l'influence des mêmes lois que la transmission de la chaleur dans un barreau métallique qu'on chauffe par une de ses extrémités.

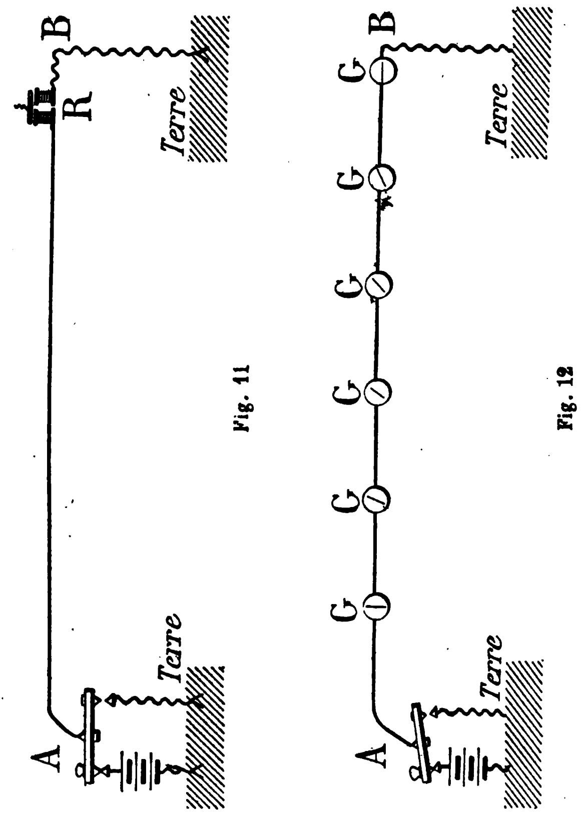


Fig. 11

Fig. 12

Ainsi, quand on envoie le courant sur une ligne AB (fig. 11), l'électricité arrive presque instantanément à l'extrémité opposée B, mais en très-petite quantité, qui est sans effet sur le récepteur de ce bureau et qui augmente graduellement jusqu'au moment où la

différence de potentiel entre deux points quelconques de la ligne reste constante.

Le courant est alors *régulier, normal, stable* ou *permanent*, c'est-à-dire qu'il a la même intensité à chacun des points du circuit et qu'il la conserve tant que rien n'est modifié.

50. — C'est à ce moment seulement que les transmissions télégraphiques s'effectuent régulièrement au bureau d'arrivée, tandis que son récepteur reste insensible, avons-nous dit, pendant la formation du courant.

51. — On peut se rendre compte des variations que subit un courant envoyé sur une ligne et en apprécier les effets, en échelonnant sur la ligne parcourue (fig. 12) plusieurs appareils très-sensibles, comme des galvanomètres G, et en observant la déviation de leurs aiguilles, qui varie de l'un à l'autre.

Ainsi, quand le courant est envoyé sur la ligne AB, l'aiguille du premier dévie avant celle du second, celle du second avant l'aiguille du troisième et ainsi de suite (*a*).

En outre, si les galvanomètres ont la même résistance, et leurs aiguilles la même sensibilité, la variation des aiguilles varie graduellement du premier au dernier : la déviation augmente rapidement et dépasse même la limite normale dans les premiers galvanomètres compris dans la première moitié de la ligne, tandis qu'elle diminue ensuite. La déviation de ceux qui sont placés dans la seconde moitié est d'abord faible et augmente graduellement.

52. — Au bout d'un certain temps relativement court et très-variable, d'ailleurs, si la ligne est bien isolée, la déviation est la même à tous les galvanomètres (fig. 13), ce qui indique que le courant est parvenu à l'état *stable* ou *permanent* (49).

53. — Les diverses variations qui précèdent toujours l'état stable d'un courant sont difficiles à observer sur les petites lignes aériennes ou de longueur moyenne, par suite de leur très courte

(*a*) Dans cette hypothèse, l'espacement des galvanomètres varie avec la nature des lignes et comporte, dans tous les cas, une distance de plusieurs kilomètres.



durée; mais elles sont très appréciables sur les longues lignes et sur les lignes souterraines ou sous-marines, ainsi que nous le montrerons plus tard.

II — Période variable de charge.

54. — La période qui se produit toujours au début d'un courant et pendant laquelle celui-ci augmente graduellement d'intensité, est appelée *période* ou *état variable* du courant, et, comme la charge du circuit s'effectue pendant cette période, celle-ci est appelée *période variable de charge.*

55. — Le courant électrique ne devient régulier ou stable qu'autant que le conducteur est complètement chargé d'électricité.

Or, la charge que peut prendre un conducteur dépend (*a*) :

1° De ses dimensions, car il est évident que si un conducteur dévient deux, trois, quatre fois, etc. plus long, il pourra recevoir, si les conditions où il est placé restent les mêmes, une charge double, triple, quadruple, etc., de la première : la charge varie donc avec la longueur.

Elle varie encore avec le diamètre du conducteur : la surface totale du conducteur varie, en effet, avec son diamètre et influe nécessairement sur la charge que le conducteur est susceptible de recevoir : toutefois, la charge n'augmente pas dans le même rapport que lasurface. Par exemple, pour deux conducteurs dont l'un aurait un diamètre double de celui de l'autre, la charge du premier ne serait pas double de celle du second.

2° De la nature du conducteur ou des conditions où il est placé (*b*).

56. — La durée de la période variable de charge ou de l'état variable du courant dépend donc de celle qui est nécessaire à la

---

(*a*) Nous supposons toujours dans nos exemples que le conducteur a la forme cylindrique.

(*b*) Nous examinerons ce cas particulier en parlant des lignes souterraines et sous-marines (56, 3°).

source électrique ou à la pile pour communiquer à la ligne la charge qu'elle est susceptible de recevoir.

Elle dépend donc :

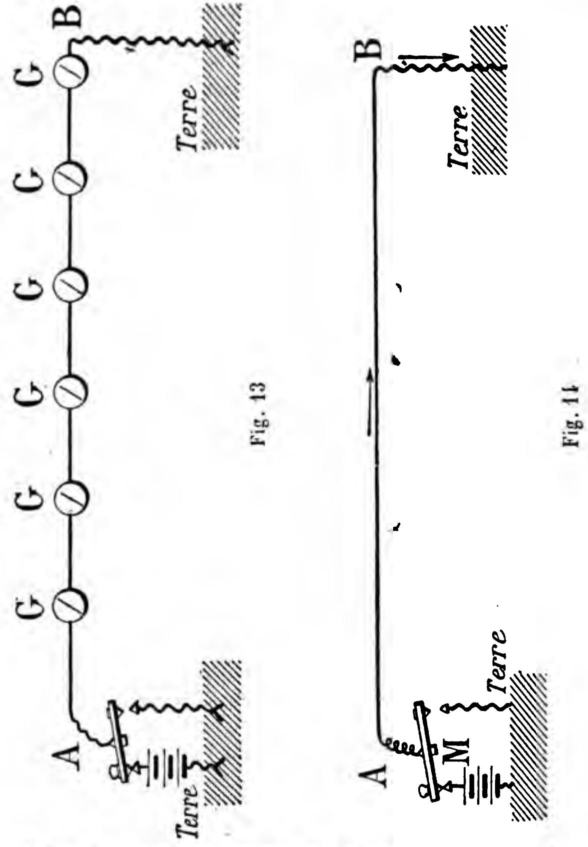


Fig. 13

Fig. 14

1° Des dimensions du conducteur; nous avons vu, en effet, que la charge varie avec celles du conducteur (55, 1°); donc, selon que les dimensions d'un conducteur augmentent ou diminuent, la charge

subit des variations correspondantes, et, par suite, la durée de charge. Cette durée n'est pas toutefois proportionnelle à la longueur, mais à son carré. Il est évident, en effet, que si la longueur du conducteur ou la ligne devient double, triple, etc., le courant emploiera pour la parcourir un temps double, triple, etc. Mais, d'un autre côté, pour que la charge soit complète, il faut qu'elle devienne aussi double, triple, etc., par conséquent, le temps nécessaire au courant pour devenir permanent, sera deux fois deux fois, trois fois trois fois, etc., plus grand, ou en d'autres termes, il sera *proportionnel au carré de la longueur.*

2° De la résistance du conducteur. En effet, si deux conducteurs, que nous supposons de même nature, ont la même section, et la même longueur, mais n'ont pas la même résistance et sont placés dans les mêmes conditions, ils prendront la même charge, mais celle-ci s'établira plus rapidement dans le conducteur dont la résistance est moindre et l'état stable du *courant* s'y établira plus vite : donc, la période variable de charge varie avec la résistance des conducteurs, et lui est proportionnelle.

D'où il résulte que toute cause qui modifie la résistance du circuit, sur un ou plusieurs points, influe en même temps sur la durée de la période variable du courant.

3° De la position des conducteurs. L'électricité, quand elle parcourt un conducteur, agit en chaque point par induction sur le milieu que traverse le conducteur, et établit ainsi deux états électriques opposés qui s'attirent. Par suite de cette action inductive, l'électricité augmente la charge, ralentit son mouvement et prolonge la période de charge.

Si les effets d'induction sont à peu près négligeables sur les lignes aériennes ordinaires, il n'en est pas de même sur les lignes souterraines ou sous-marines, où ils sont très prononcés. A la condensation que produit l'induction à chaque point de l'âme du câble s'ajoute l'effet d'un autre phénomène : en effet, par suite de sa condensation, l'électricité pénètre peu à peu dans la matière isolante et augmente l'action inductive. La position du conducteur ou la nature d'une ligne influe donc notablement sur la durée de la période variable de charge.

4° De l'état d'isolement du conducteur ou de la ligne. Il est reconnu, en effet, que si une ligne de moyenne longueur a des pertes à la terre, celles-ci amoindrissent la période variable de charge, tandis que, si les dérivations qui se produisent sur des lignes très

longues, la durée de la période variable est augmentée : dans tous les cas, les modifications qu'éprouve l'isolement influent donc sur la durée de la période variable.

57. — *Remarque.* — Le potentiel de la pile ou de la source électrique est sans effet sur la durée de la période variable : si, en effet, le potentiel active le mouvement du courant dans le conducteur, d'autre part, la charge que ce dernier doit recevoir augmente proportionnellement au potentiel de la source : il y a donc compensation entre les causes d'avance et de retard.

58. — On conclut de ce qui précède que la durée de l'état variable de charge, quand les extrémités d'une ligne sont reliées l'une à l'un des pôles d'une pile constante et l'autre à la terre, dépend de la longueur du conducteur, de sa résistance, de sa capacité et de son état d'isolement ou, en résumé,

La période variable de charge d'une ligne, ou la période variable du courant, est approximativement égale au produit du carré de sa longueur par sa capacité.

Cette durée est négligeable sur les lignes aériennes moyennes au-dessous de 400 kilomètres, mais elle est très-sensible sur les grandes lignes, les lignes souterraines et sous-marines, par suite de leur capacité relativement considérable et des effets d'induction qui se produisent dans les câbles.

Ainsi, la période variable pour un conducteur aérien de 500 kilomètres de longueur est d'environ 0,02 de seconde; si le fil ou conducteur était deux, trois, quatre fois, etc., plus long, la durée serait quatre, neuf, seize fois, etc., plus grande, ou d'environ 0,08, — 0,18, — 0,32, etc. de seconde.

III. — Période variable de décharge.

59.— Considérons la ligne télégraphique AB (fig. 14) et la pile à courant constant P; si l'on met le manipulateur M sur contact, un courant parcourra aussitôt cette ligne, et parviendra rapidement à l'*état stable* ou *régulier*, dont la durée dépendra de la communication de la pile avec la ligne.

Si l'on interrompt brusquement le contact, le courant cesse au

point d'émission, mais ne disparaît pas instantanément de la ligne : l'électricité, dont la ligne est chargée au moment de l'interruption, s'écoule à la terre au bureau B, en formant un courant dont l'intensité diminue graduellement à mesure que la charge électrique décroît, et disparaît avec elle au bout d'un certain temps relativement court. Le courant continue donc après que la communication de la pile avec la ligne est interrompue : pendant cette nouvelle période, appelée *période* de *décharge*, le courant se nomme *courant* de *décharge*.

Son intensité subit pendant sa durée des variations analogues à celles du courant de charge (49), mais inverses de celles de ce dernier courant.

IV. — Courant de retour.

60. — Si la ligne AB (fig. 15) était isolée au bureau B pendant qu'on enverrait le courant sur la ligne, dès que la communication entre la pile et la ligne serait interrompue, la charge électrique se répandrait dans l'air, ou bien à la terre, si l'isolement était défectueux. La décharge serait d'autant plus lente que l'isolement serait meilleur.

Mais si, en même temps qu'on interrompt brusquement au bureau A la communication de la pile avec la ligne, on fait aussitôt communiquer celle-ci avec la terre (fig. 16), la décharge se fait immédiatement en formant un courant instantané sur les lignes moyennes, mais dont la durée est très appréciable sur les grandes lignes aériennes, et surtout sur les câbles des lignes souterraines et sous-marines.

Ce courant de décharge se manifeste par l'effet sensible et instantané qu'il produit sur l'électro-aimant du récepteur R.

Le courant de décharge, inverse du courant de charge (49), est appelée *courant* de *retour*.

Si le manipulateur passait instantanément de la position d'émission à celle de réception, et que les pertes sur la ligne fussent nulles, le courant de retour serait égal au courant de charge. Mais il en est rarement ainsi : aussi le courant de retour n'est-il généralement qu'une fraction du courant de charge.

61. — Voyons maintenant ce qui se produira si l'on met la ligne AB à la terre au bureau B (fig. 17) pendant et après l'envoi du courant.

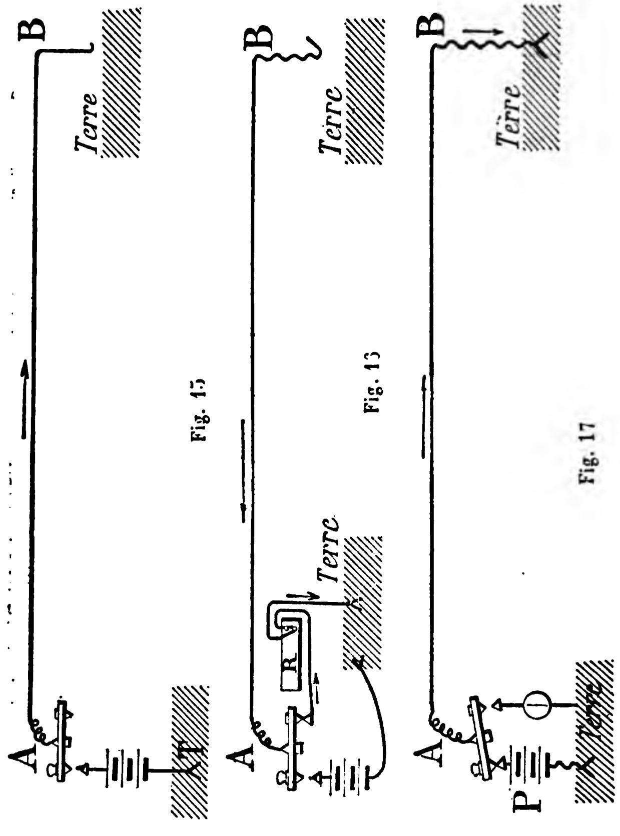


Fig. 15

Fig. 16

Fig. 17

Remarquons d'abord qu'en envoyant le courant d'une pile P sur la ligne AB, dont l'extrémité communique avec le sol, le conducteur ou la ligne AB se chargera comme dans le cas précédent (60), mais la charge, qui sera maximum au point A, diminuera graduellement

de A à B, où elle sera nulle. Cette charge ne sera donc que la moitié de celle que recevrait cette ligne, si le point B était isolé.

Si on charge, en effet, le conducteur AB (fig. 18) par le point A, et que B soit isolé, le potentiel du conducteur, et par suite la

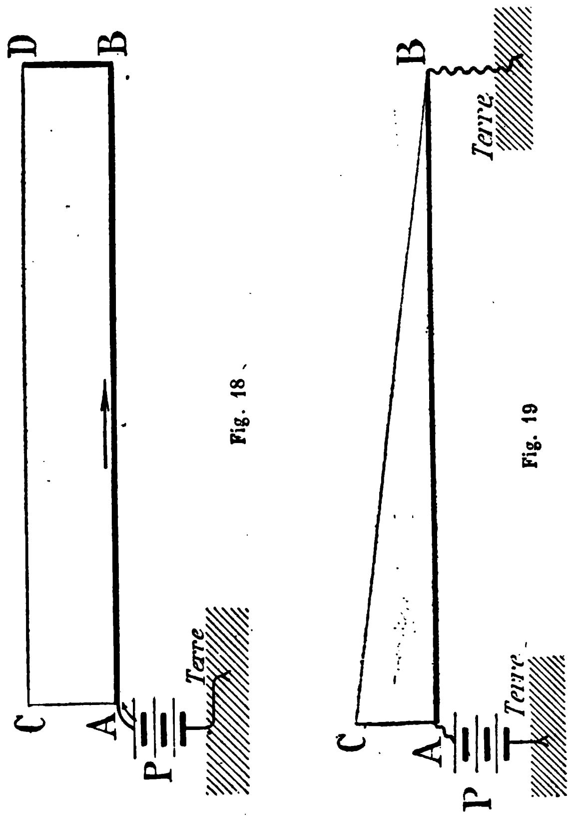


Fig. 18

Fig. 19

charge reçue, sera la même à tous les points du conducteur, qui sera en ***équilibre électrique*** avec la pile. Si nous figurons par la perpendiculaire AC la valeur du potentiel au point A, la même perpendiculaire pourra donc ıeprésenter le potentiel de chacun des

points du conducteur AB, soit celui du point B; et, comme la charge est proportionnelle au potentiel, la charge totale du conducteur AB sera donc figurée par le rectangle ABCD.

Au contraire, si le conducteur AB est mis à la terre en B quand on le charge par le point A, le potentiel en ce dernier point sera égal à celui de la pile avec laquelle il sera en équilibre électrique; mais il diminuera graduellement suivant la ligne AB jusqu'en B, où il sera nul (fig. 19). Par suite, la charge totale sera représentée par le triangle ABC, et ne sera donc que la moitié de ce qu'elle était au cas précédent, puisque le triangle ABC n'est que la moitié du rectangle ABCD.

62. — Quand on interrompt la communication de la pile avec le conducteur ou la ligne, l''électricité s'écoule presque instantanément par l'extrémité opposée B, qui est à la terre; si la ligne est courte, elle ne dépasse pas 350 kilomètres. Mais, si elle dépasse cette longueur, et que le manipulateur passe rapidement de la position d'émission à celle de réception, la charge de la ligne se partagera en deux parties, dont l'une continuera à suivre la ligne, et l'autre viendra se perdre à la terre au point de départ, où le passage de ce courant de retour peut être observé avec un appareil très sensible, comme un galvanomètre, par exemple (fig. 20), ou même un récepteur.

63. — Le partage de la charge en deux courants inverses tient à la résistance de la ligne. Considérons, en effet, une ligne ABC (fig. 21), de 500 kilomètres de longueur. Lorsque la ligne est chargée, et que la communication de la pile avec la ligne cesse, la partie de la charge comprise entre B (moitié de la ligne) et C (son extrémité) s'écoulera de la terre au point C; mais celle qui est répandue sur la première partie de la ligne, entre A et B, s'écoulera à la terre, au point A, si le manipulateur passe brusquement à la position de réception, parce que la résistance sera moindre, surtout si l'on intercale une résistanee plus ou moins grande entre C et la terre, qui aura pour effet de ralentir la décharge par l'extrémité de la ligne, et, par suite, d'augmenter l'intensité du courant de retour. (*Le récepteur du bureau C jouera le rôle de cette résistance intercalaire*).

Remarquons que le courant de retour est encore favorisé par

l'effet même de la charge dont la plus grande partie réside entre A et B, puisque la charge totale de la ligne peut être figurée par le triangle ABC (fig. 19, nº 61).

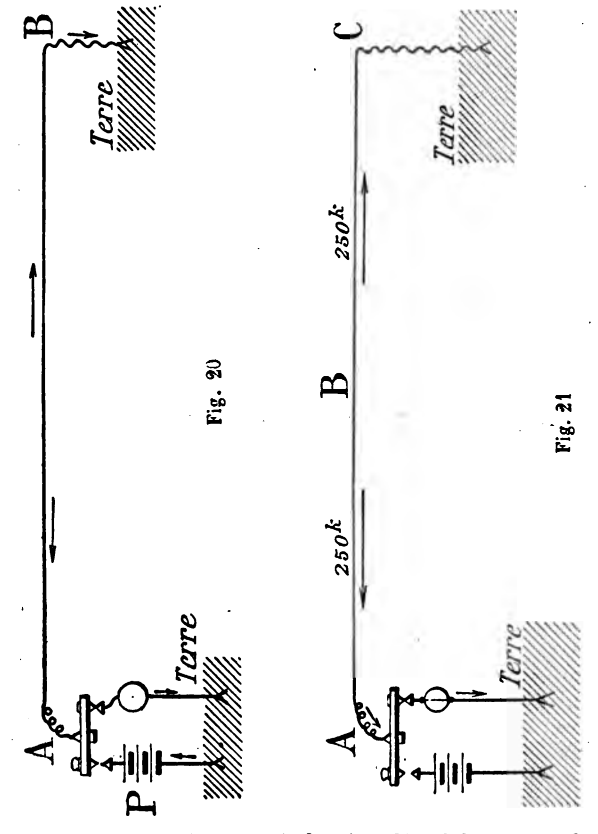


Fig. 20

Fig. 21

64. — L'intensité des courants de retour dépend de la charge du conducteur, qui est elle-même d'autant plus grande que le conducteur où la ligne est longue, ou qu'elle est établie dans des conditions particulières (55).

65. — Lorsque les courants de retour arrivent au récepteur, ils parcourent les bobines de l'électro-aimant, et s'ils ont une intensité suffisante, mettent l'armature en mouvement, qui produit un bruit sec et instantané, appelé *coup de fouet*. Quelquefois, c'est la reproduction très nette des signaux envoyés au bureau correspondant, que l'on obtient du récepteur au passage du courant de retour.

66. — C'est principalement sur les grandes lignes aériennes, et surtout sur les câbles sous-terrains et sous-marins, à cause de leur grande capacité et de leurs propriétés inductives, que se manifestent ces effets de transmission aux deux extrémités des lignes. Ils apportent une certaine gêne dans le travail, sans toutefois nuire à la régularité des transmissions simples ou ordinaires.

Mais il n'en est pas de même si le service se fait en duplex, ainsi que nous le verrons bientôt.

V.— Durée de la période variable de décharge.

67. — La *durée* de la *période variable* de *décharge* est égale, si la ligne est à la terre au bureau correspondant, *au temps que met le courant pour devenir stable*, c'est-à-dire *à celle de charge* (58). Il se produit alors un double courant de décharge par les deux extrémités de la ligne qui est à la terre aux deux bureaux correspondants (60).

68. — Si, après avoir chargé la ligne, celle-ci est isolée du côté de la pile, la décharge s'opère seulement par l'extrémité opposée : ce qui arrive sur les petites lignes ou les lignes moyennes, qui sont généralement desservies avec un appareil Morse, et dont la *manœuvre* du manipulateur se fait lentement.

Dans ce cas, la *durée de la décharge* est égale à *quatre fois* celle de la charge (58).

En prenant comme base d'essai, un conducteur de 500 kilomètres de longueur, et de 4 millimètres de diamètre, on trouve que la durée de décharge est de 0,02 de seconde dans le premier cas (67), et de 0,02 × 4 ou 0,08 de seconde dans le second.

VI. — Effets des périodes variables du courant sur les transmissions télégraphiques.

69. — Ainsi qu'on vient de le voir, on distingue donc trois périodes bien caractérisées dans un courant : la *période* de *charge* et la *période permanente* ou *stable*, que l'on observe quand on ferme le circuit, et la *période* de *décharge*, qui se produit dès que le circuit est ouvert (49 et 59).

Ces périodes jouent un certain rôle au point de vue des transmissions télégraphiques.

Si, en effet, des émissions successives de courant se produisaient d'un bureau A au bureau B avant que les décharges correspondantes de la ligne fussent effectuées, l'effet de chacune d'elles s'ajouterait à celui de la précédente, et un courant continu, mais d'intensité variable, passerait par le récepteur du bureau B : il pourrait donc en résulter une certaine confusion dans les signaux.

Sur les petites lignes, ou les lignes moyennes, ne dépassant pas 400 kilomètres, les effets de charge et de décharge correspondent généralement *aux mouvements* des manipulateurs employés, et les signaux envoyés arrivent très nets au bureau correspondant.

Sur les longues lignes, leur effet n'est pas non plus aussi nuisible qu'on serait tenté de le craindre tout d'abord.

En effet, de même qu'un récepteur ne fonctionne qu'autant que le courant est arrivé à l'état stable (49 et 50), de même il revient au repos avant que la décharge soit effectuée. Or, si des émissions successives produisent un courant continu sur les longues lignes, ce courant subira des variations correspondantes d'intensité : donc le récepteur du bureau correspondant sera actionné à chaque accroissement d'intensité du courant, et reviendra au repos dès que l'intensité diminuera.

D'ailleurs, en ralentissant dans une certaine mesure, les mouvements du manipulateur, on peut toujours obtenir un excellent résultat sur toutes les lignes aériennes. Mais, si ces phénomènes n'ont pas d'action nuisible, même sur les grandes lignes, pour les transmissions simples et ordinaires (65 et 66), il n'en est pas de même au point de vue du service en duplex, où les courants de retour et les effets d'induction jouent un rôle important, et appor-

teraient un certain trouble dans le service, si des précautions n'étaient prises pour éviter ou atténuer leur action perturbatrice.

VII. — Effets des courants de retour.

70. — Sur les petites lignes et les lignes moyennes, les courants de retour sont généralement sans effet nuisible sur les transmissions duplex. Mais il n'en est pas ainsi lorsque les bureaux duplexés sont placés aux extrémités des longues lignes.

Si le courant de retour se produisait au même instant, et avec une égale intensité, et dans le *circuit de la ligne* et *celui de la ligne locale*, son effet serait nul sur l'armature du récepteur. Mais cette *simultanéité* et cette *égalité d'intensité* des courants ne peuvent se réaliser que si la ligne et le circuit local se trouvent dans des conditions tout à fait *identiques* et de *résistance* et de *capacité électrostatique*.

71.—La charge que peut prendre un conducteur dépend, en effet, non seulement de sa section et de sa longueur, mais encore des conditions où il est placé (55), éléments qui influent naturellement sur la durée de la période de décharge (67).

72. — La période de décharge est insensible sur les petites lignes et les lignes moyennes; mais elle devient très perceptible sur les grandes lignes, et notamment sur les lignes *souterraines* et *sous-marines*, où les effets d'*induction* se manifestent d'une manière très sensible.

Or, la ligne locale est toujours très courte; la boîte de résistance placée dans son circuit, pour faire *équilibre* à la résistance de la ligne, est formée de *bobines* de fils très résistants, mais dont la section et la longueur sont nulles, comparées à celles de la ligne.

Si avec un circuit local, établi dans ces conditions sur les petites lignes et les lignes moyennes, le travail en duplex s'effectue d'une manière satisfaisante, il n'en est plus ainsi sur les grandes lignes par suite de l'inégalité de *capacité* entre la ligne principale et le circuit local.

Il est donc indispensable d'améliorer l'installation de la ligne locale, quand le duplex est établi sur de grandes lignes.

73. — Le courant de retour qui se produit sur les grandes lignes, bien que rapide, met en effet un temps appréciable pour revenir à la terre au bureau du départ (72). Pour contrebalancer son effet nuisible (65 et 66), il est donc indispensable de disposer la ligne locale de manière qu'il s'y produise un courant de *retour inverse* et *identique*, c'est-à-dire d'égale intensité, et dont l'état variable correspond à celui du premier.

74. — Pour atteindre ce but, il convient de donner à la ligne locale une capacité électrostatique équivalente à la ligne réelle. On y est parvenu en faisant usage de bobines d'induction ou de *condensateurs*, au moyen desquels on peut facilement compenser les effets de charge et de décharge.

VIII. — Usage des condensateurs.

75. — L'emploi des condensateurs permet en effet de varier la *capacité* du circuit local, de manière à obtenir sous un très petit volume des surfaces très grandes dont la capacité, qui augmente considérablement, par l'effet de la *condensation*, devient aisément, avec un bon réglage, équivalente à celle de la ligne.

76. — Rappelons d'abord que la charge que peut prendre un condensateur dépend de la puissance ou du potentiel de la source électrique, de la surface des armatures, de la distance qui les sépare, de la nature et de l'épaisseur de la matière isolante ou *diélectrique*.

77. — Les condensateurs se placent ordinairement sur le circuit local ou dans un circuit spécial dépendant de ce dernier. Dans notre figure théorique 10, nº 19, nous représentons les condensateurs par C. Comme leur rôle est de compenser la capacité et les effets de charge et de décharge de la ligne réelle, le circuit *hc* T est appelé pour cette raison *circuit* ou *ligne de compensation*.

78. — Reportons-nous à la figure 10, n° 19, et supposons que le bureau A place le manipulateur sur contact de pile : le courant envoyé se bifurque à l'entrée du récepteur ; une partie suit la ligne principale, et l'autre traverse le circuit local, et communique aux condensateurs qui sont reliés à ce circuit, et dont la capacité, avons-nous dit (75), est mise en rapport avec celle de la ligne, une charge qui augmente graduellement jusqu'à l'état stable du courant, et devient égale à celle que reçoit la ligne principale.

Dès que l'émission du courant cesse, le courant de retour, qui revient de la ligne, traverse l'hélice de ligne *fed* (fig. 10, n° 19), et se rend à la terre en suivant le circuit de terre *dejbr* T. Au même instant, et pendant la même période, l'électricité tenue en réserve par les condensateurs, se dégage et donne lieu à un courant de retour d'une intensité égale à celle du premier ; il traverse l'hélice locale *hgd* en se rendant à la terre à travers le circuit de terre *dejbr* T. Ces deux courants ayant la même intensité et la même durée, produiront simultanément les mêmes effets en traversant l'électro-aimant.

Mais comme ils parcourent les hélices en *sens inverse*, les deux effets égaux et contraires produits sur les noyaux des bobines se *neutralisent*, et l'armature reste au repos.

79. — On peut varier à volonté la forme et la disposition des condensateurs.

Ceux dont on fait usage dans le service télégraphique sont établis de manière à offrir à l'action inductive, sous un très petit volume, une surface susceptible d'être considérablement augmentée ou diminuée, selon les besoins à satisfaire.

Ils sont formés de feuilles d'étain disposées comme les feuillets d'un livre, et alternant avec des feuilles de mica ou de papier imbibé de paraffine de mêmes dimensions.

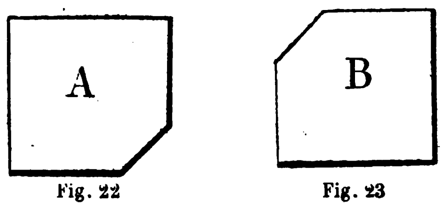


Fig. 22 Fig. 23

Ces feuilles ont généralement la forme de petits carrés A (fig.22)

et B (fig. 23); on rogne les coins correspondants des feuilles d'étain A, et les coins opposés qui se correspondent de feuilles de mica B.

Deux de ces feuilles réunies forment un condensateur simple (fig. 24).

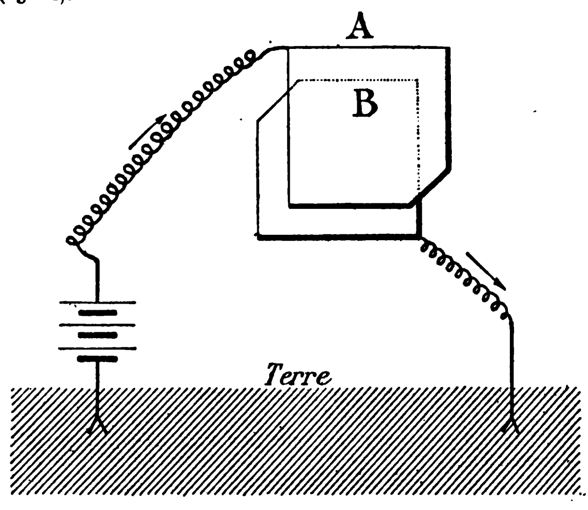


Fig. 24

Pour charger un condensateur simple, il suffit de relier à la pile le coin saillant de la feuille d'étain A; et, à la terre, le coin opposé de la feuille de mica (fig. 24).

80. — On peut réunir un nombre quelconque de condensateurs simples, en les plaçant les uns contre les autres, et en reliant entre elles avec la pile les feuilles d'étain par les coins saillants, et avec la terre les feuilles de mica par les coins opposés.

Les condensateurs peuvent être placés dans des caisses en bois A (fig. 25) sur les couvercles desquelles émergent des bornes qui correspondent les unes *b* avec les feuilles de mica, les autres *a* avec les feuilles d'étain. On relie les *premières* à la terre, et chacune des autres avec un commutateur bavarois B, qui permet de prendre

à volonté le nombre de condensateurs nécessaire pour donner à la ligne de compensation une capacité en rapport avec celle de la ligne principale.

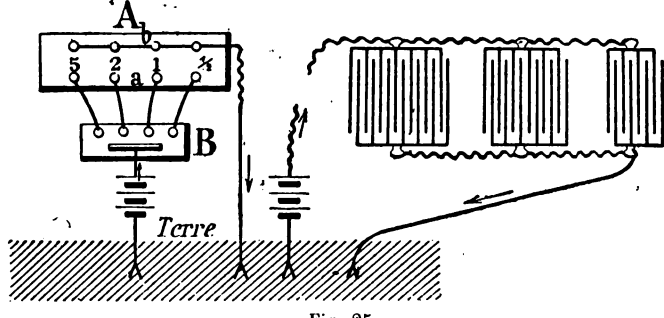


Fig. 25

Pour faciliter cette opération, les bornes qui correspondent aux feuilles d'étain portent généralement les indications *1/2 mf*, *1 mf*, *5 mf*, etc., qui désignent la capacité électrostatique des feuilles ou condensateurs auxquels ces bornes correspondent.

1/2 mf se lit 1/2 microfarad, ou 1/2 microf, etc.

81. — Dans une installation en duplex, il faut surtout se préoccuper de rendre autant que possible la ligne locale et celle de compensation identiques à la ligne principale au point de vue des effets électriques. La charge et la décharge d'une ligne s'opèrent d'autant plus lentement que celle-ci est longue ; l'action inductive y devient en outre plus grande. Il faut donc disposer les condensateurs de manière qu'ils produisent les mêmes effets.

Si, en effet, la ligne principale et la ligne locale complétée par la ligne de compensation ont la même capacité électrostatique, et si la charge et la décharge s'opèrent de part et d'autre dans le même temps et se distribuent de la même manière, il y aura réellement compensation ou équilibre entre les deux lignes, et les effets nuisibles des courants de *retour* ou *coups de fouet* seront neutralisés ou détruits.

Pour réaliser cette similitude de charge et de décharge sous le double rapport de la quantité et de la durée, on a été conduit à

placer entre les condensateurs *c*, *c'*, *c''*, etc., des bobines de résistance ou d'induction *r*, *r'*, *r''*, etc. (fig. 26).

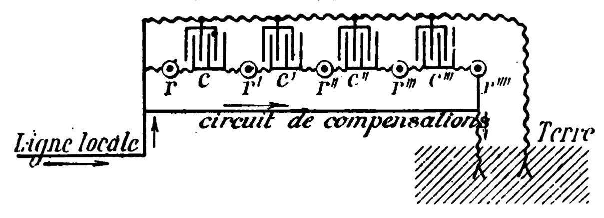


Fig. 26

L'usage des bobines d'induction est préférable à de simples résistances : celles-ci auraient l'inconvénient, en augmentant la résistance du circuit, de diminuer la charge sans augmenter sensiblement la période de décharge; les bobines d'induction, au contraire, ont une résistance négligeable; en outre, leur action inductive offre le double avantage d'augmenter la charge des condensateurs, et d'en retarder la décharge.

Ainsi, la bobine *r* prolonge la période de charge et de décharge du condensateur voisin *c*; son action s'ajoute encore à la bobine *r'* pour influencer le condensateur *c'*; le condensateur *c''* subit l'action des bobines *r*, *r'* et *r''*, qui le précèdent, et ainsi de suite.

De cette manière les courants de charge et de décharge de la ligne de compensation, lorsqu'elle est convenablement réglée, produisent toujours des effets identiques à ceux de la ligne réelle sous le triple rapport de la distribution, de la force et de la durée de la charge et de la décharge. Le réglage des condensateurs se fait diversement et à tâtons; nous en parlerons dans les applications qui vont suivre.

SECTION V.

Usage des piles.

---

82. — Pour faciliter l'exposition qui vient d'être faite du système duplex, nous avons supposé que les bureaux duplexés faisaient usage de piles identiques, ayant par conséquent le même potentiel; et qu'ils utilisaient l'un et l'autre le courant positif pour le travail des transmissions (*a*).

83. — Il nous reste à démontrer que l'application de ce système est indépendant des piles employées, de leur potentiel, et du pôle ou courant utilisé dans chaque bureau. Il est évident que l'emploi des piles et des courants est tout à fait indifférent dans les transmissions simples: il suffit seulement que le courant envoyé avec une pile quelconque par le bureau qui transmet ait une force suffisante pour actionner le récepteur du bureau correspondant. Il en est de même dans les transmissions simultanées ou en duplex. mais c'est ici que quelques explications nous paraissent nécessaires.

84. — Admettons d'abord que les piles soient identiques dans les bureaux correspondants : leur emploi peut donner lieu à *quatre cas* différents que nous allons examiner.

I. — Cas. A et B envoient le courant positif.

85. — C'est le cas que nous avons appliqué dans l'exposition du duplex que nous venons de faire; il serait superflu d'y revenir.

(*a*) Par courant *utilisé*, on entend celui qui est envoyé sur la ligne au moyen du pôle positif ou négatif de la pile.

II.— Cas. A envoie le courant positif, et B le courant négatif.

86. — Le courant de A, arrivé au point *d* (fig. 5, n° 19), se bifurque en deux parties ou courants : le courant de ligne et le courant local (28 et 38).

Le courant envoyé par B, qui se met sur contact d'émission en même temps que A, se partagera également en deux parties au point *d'*.

87. — Rappelons d'abord que *l'intensité d'un courant entre deux points est proportionnelle à la différence de potentiel entre ces deux points;* et *en raison inverse de la résistance du conducteur qui les relie.*

Nous ferons abstraction de la résistance dans notre raisonnement, parce qu'elle est la même pour chacun des circuits dont nous parlons.

88. — Supposons qu'à l'arrivée du courant émis au bureau A, le potentiel du point *d* soit, par exemple, de 30 unités; le potentiel négatif du point *d'*, à l'arrivée du courant émis au bureau B, sera de — 30 unités : la ligne et les hélices de ligne des récepteurs R^1 et R^2 seront donc parcourus par un courant d'une intensité proportionnelle à la *différence* de *potentiel des deux points d* et *d'*, c'est-à-dire à un potentiel de $30 + (-30) = 60$ unités (87).

Ce courant sera donc double des courants locaux qui traverseront les hélices locales des récepteurs R^1 et R^2, donc le récepteur de chaque bureau sera actionné par l'*effet de la différence entre le courant* de ligne et le courant local.

En effet, au bureau A, la différence de potentiel entre *d* et l'extrémité de la ligne locale ou la terre, dont le potentiel est zéro, sera de 30 unités $- 0 = 30$ unités, et le courant local lui sera proportionnel : donc celui-ci ne sera que la moitié du courant de ligne.

Au bureau B, la différence de potentiel entre *d'* et l'extrémité de la ligne locale ou la terre sera de $0 - (-30) = 30$ unités; le courant local qui se dirigera de la terre au point *d'* pour rétablir l'équilibre électrique, sera proportionnel à 30 unités: donc ce

courant ne sera encore égal qu'à la moitié du courant de ligne, ainsi que nous l'avons dit plus haut.

89. — Pour plus de clarté, examinons la cause qui détermine le courant qui s'établit au bureau B, de la *terre* au point *d'*.

Le potentiel de la terre est considéré comme le zéro de l'état électrique des corps, et pris comme terme de comparaison pour évaluer les différences de potentiel qui se manifestent entre les corps, de même que l'on représente par zéro la température de la glace fondante et à laquelle on compare la température des autres corps.

Le potentiel d'un corps électrisé positivement est dit *plus élevé* que celui de la terre, et, *plus bas*, celui d'un corps électrisé négativement.

Les courants sont dûs à des *différences de potentiel* qui déterminent un mouvement ou transport d'électricité d'un point à un autre dont le potentiel est moins élevé ; de même qu'un liquide ou un gaz s'écoule en vertu d'une différence de niveau ou de pression : par suite, quand un conducteur est mis en contact ou en communication métallique avec la terre, un courant s'établit du conducteur à la terre ou de la terre au conducteur, selon que le potentiel de celui-ci est *plus élevé* ou *plus bas* que celui de la terre.

Or, dès que le bureau B est sur le contact de pile ou d'émission, le point *d'* prend le même potentiel que la pile ou — 30 unités ; en outre, le point *d'* communique avec la terre par l'intermédiaire de la ligne locale de B : donc un courant d'une intensité proportionnelle à un potentiel de 30 unités se dirigera de la terre à travers *la ligne locale* de B pour rétablir *l'équilibre électrique* entre la terre et le point *d'*

III. — Cas. A envoie le courant négatif, et B le courant positif.

90. — Ce que nous avons dit au cas précédent s'applique également à celui-ci : le courant de ligne sera double de celui qui circulera dans les lignes locales, et c'est par l'*effet* de la *différence* entre le courant de la ligne et les courants locaux que fonctionneront les récepteurs des deux bureaux.

IV. — Cas. A et B envoient le courant négatif.

91. — Supposons que le potentiel de la pile de chaque bureau soit de 30 unités.

Quand A et B se mettent sur le contact d'émission, les points d et d' seront aussitôt, par hypothèse, au potentiel — 30, ou à peu près, par suite de l'emploi du pôle négatif; d et d', communiquant avec la terre par l'intermédiaire des lignes locales dont ils font partie, des courants égaux partiront de la terre et traverseront les lignes et les hélices locales pour rétablir l'*équilibre électrique* entre la terre et les points d et d' (89).

Or, la différence de potentiel entre d et d' est — 30 unités — (— 30 unités) = 0 : la ligne réelle ne sera donc parcourue par aucun courant, parce qu'un courant ne peut exister entre d et d' que s'il existe entre eux une *différence de potentiel* (89); donc, le récepteur de chaque bureau fonctionnera par l'effet du courant local.

Remarque

92. — Dans les exemples qui précèdent, nous avons supposé que les piles avaient le même potentiel (84); mais cette *identité* des piles ou l'*égalité* des courants qu'elles fournissent n'est pas nécessaire : en effet, dans les transmissions duplex, c'est tantôt le courant de ligne (86 à 90), et tantôt le courant local qui domine et sous l'influence duquel fonctionne l'armature du récepteur (85 et 91).

Si le courant de ligne excède le courant local, quelle que soit la différence qui existe entre les courants envoyés sur la ligne par les bureaux duplexés, c'est toujours par l'effet de cette différence que sont actionnés les récepteurs; ceux-ci, au contraire, sont influencés par les courants locaux, si le courant de ligne est plus faible qu'eux.

CHAPITRE II

Applications

SECTION I.

Considérations générales.

93. — Après l'exposition des principes qui régissent les transmissions duplex, il nous reste à démontrer comment ce système de transmission peut fonctionner avec les divers appareils dont on fait usage en France : le *cadran*, le *morse*, le *hughes*, le *galvanomètre à miroir*, le *recouder*, le *meyer*, le *baudot*, le *wheatstone*, etc.

Le cadran n'est guère employé que dans le service des gares; mais bien que le nombre des transmissions échangées avec cet appareil soit considérable, l'importance du travail dans les gares principales tient plutôt aux nombreux bureaux qu'elles ont à desservir qu'au nombre de télégrammes à transmettre de bureau à bureau.

Il serait donc superflu d'indiquer le moyen pratique de duplexer le cadran. D'ailleurs, les Compagnies de chemin de fer se préparent actuellement à substituer le morse au cadran : les signaux du premier se conservent et offrent un moyen de contrôle: ceux du second, au contraire, sont fugitifs, ne présentent aucune garantie et exposent à plus de chances d'erreur.

Le morse est utilisé dans tous les bureaux de l'Etat. L'usage du hughes, réservé d'abord aux bureaux de premier ordre, s'est peu à peu généralisé : la plupart des bureaux secondaires sont, en ce moment, pourvus de cet appareil.

Il est donc de toute utilité d'indiquer le moyen pratique de duplexer le morse et le hughes.

Il en est de même des appareils à miroir et recorder, qui rendent d'immenses services dans l'exploitation des lignes sous-marines où ils sont exclusivement employés. Nous y reviendrons plus tard dans un chapitre spécial.

Pour l'application du duplex au meyer, qui tend à disparaître du service, au baudot dont le succès s'accroît tous les jours, et au wheatstone, qu'il est bon de tenir en réserve, nous renvoyons nos lecteurs aux publications qui ont paru sur ces appareils.

Nous signalons particulièrement à leur attention une *étude* du wheatstone par M. Le Tual, directeur des postes et télégraphes. Elle a été traitée avec toute l'étendue, la clarté et la précision désirables; elle se recommande surtout par son plan méthodique qui, à l'aide d'un atlas qui complète l'ouvrage, en rend la lecture aussi agréable qu'instructive.

SECTION II.

Morse.

I. — Installation.

94. — Supposons que les deux bureaux A et B soient montés en duplex différentiel; que les piles, les appareils et les divers circuits y soient disposés de la même manière et dans les mêmes conditions : il suffira donc de décrire l'installation d'un de ces bureaux, A, par exemple.

95. — La planche I représente cette installation.

P figure la pile dont le pôle négatif est à la terre T, et le pôle positif relié au manipulateur M; le manipulateur M^1 communique avec les commutateurs C et C'.

Le commutateur C permet à volonté de relier le manipulateur M ou M' au récepteur R, et le commutateur C^1 peut les mettre alternativement à la terre.

Ces commutateurs dits *bavarois* sont utilisés au moyen de *fiches* métalliques F, que l'on enfonce dans les échancrures à frottement dur, de manière à établir la communication entre les blocs métalliques et séparés qui composent ces commutateurs.

96. — Le récepteur R comprend un *électrò-aimant différentiel* (15,*m*) dont les hélices, absolument identiques sous tous les rapports, partent de la borne I, sont enroulées en sens inverse autour des bobines, et rattachées par leurs extrémités opposées, l'une à la borne L, et l'autre à la borne T.

Un conducteur ou fil métallique part de la borne L, arrive au commutateur C^2, d'où il peut être relié à la sonnerie S et de là à la terre, ou au galvanomètre G, puis au paratonnerre P*a* et avec la ligne principale ou réelle.

97. — La borne T du récepteur communique avec un rhéostat ou une boîte de résistance R*h*, et de là avec le fil de terre, c'est-à-dire avec la ligne locale.

98. — Un condensateur C*o* forme la ligne de compensation, qui complète cette installation; elle se rattache à la ligne locale par ses deux extrémités, ou par l'une d'elles seulement, tandis que l'autre est reliée à la terre.

II. — Transmission simple.

1. *Marche du courant.*

99. — La planche I représente, avons-nous dit, deux manipulateurs M et M'; on peut se servir indifféremment de l'un ou de l'autre, que la transmission soit simple ou en duplex entre les deux correspondants.

Pour se servir de M, on bouche l'ouverture K des commutateurs C et C^1; ou l'ouverture 2 des mêmes commutateurs pour l'emploi du manipulateur M'.

On fait usage de M dans la transmission simple, et l'on réserve M' pour la transmission duplex, afin que l'agent chargé de lire et d'écrire les télégrammes d'arrivée, se trouve en face du récepteur.

100. — Remarquons que l'emploi de l'un des manipulateurs a pour effet de placer l'autre hors du circuit, de sorte qu'on peut

toucher à ce dernier au cours des transmissions sans qu'il puisse en résulter le moindre inconvénient.

101. — Supposons, par exemple, qu'on fasse usage du manipulateur M.

Après avoir fermé les ouvertures 1 des commutateurs C, C^1 et C^2, appuyons le levier du manipulateur sur le contact d'émission : le courant envoyé trouve le commutateur C, arrive à la borne I du récepteur, où il se bifurque ; une partie passe dans l'hélice n° 1, figurée par une ligne pleine, sort par la borne L, traverse successivement le commutateur C^2, le galvanomètre G, et le paratonnerre P*a*, d'où elle se dirige sur la ligne L pour aller au bureau B.

L'autre partie suit, dans une direction opposée, l'hélice n° 2, indiquée par une ligne ponctuée, et sort par la borne T, d'où elle va se perdre à la terre en traversant le rhéostat R*h*.

102. — Si un courant est émis au bureau B, dont l'installation est semblable à celle du bureau A, il suit une marche analogue à celle que suit le courant de A pour se diriger à travers la ligne réelle à ce dernier bureau.

Il suffira donc pour montrer la marche que suit au bureau B le courant envoyé de A à B, d'examiner celle que suivra au bureau A, un courant envoyé par B, et *vice versa*.

103. — Le courant venant de B ou d'arrivée traversera successivement P*a*, G. C^2, dont l'échancrure 1 sera bouchée, et arrivera à la borne I par l'hélice n° 1 LI. Ici le courant trouvant deux nouvelles voies, se bifurque en deux parties pour se rendre à la terre : l'une en allant de I à C. M, et C^1 dont une fiche F ferme l'ouverture 1 ; et l'autre, en suivant l'hélice n° 2 I T et la ligne locale T, R*h*, T.

2. Réglage et réception.

104. — Nous savons déjà que dans l'installation des bureaux en duplex, il faut que les récepteurs soient disposés de manière que leurs armatures soient insensibles aux courants de départ, et qu'elles fonctionnent par l'effet des courants d'arrivée (17).

105. — Il est indispensable d'obtenir ce résultat au double point de vue des transmissions simples et doubles ou en duplex.

Quand le manipulateur du bureau A est sur le contact d'émission, le courant émis arrivé à la borne I du récepteur R trouve deux voies : l'hélice nº 1 ou de ligne, et l'hélice nº 2 ou locale. Ces deux hélices ont la même section, la même longueur, et, par suite, la même résistance; elles font le même nombre de tours, mais en sens inverse, dans les bobines de l'électro-aimant.

106. — Si nous faisons abstraction des parties extérieures des circuits qui se relient aux hélices par les bornes de sortie T et L, le courant, arrivé à la borne I, se partagera donc en deux courants égaux, puisque les hélices ont la même résistance : donc ils seront d'égale force et produiront les mêmes *effets magnétiques ;* mais comme ces deux courants circuleront en sens inverse autour des bobines (105), leurs *effets égaux* et *contraires se neutraliseront,* et l'armature du récepteur R restera au repos.

107. — Si, au contraire, les bobines n'avaient pas la même résistance, les courants seraient inégaux, et l'armature du récepteur serait actionnée avec une force proportionnelle à la différence de ces courants (28)

108. — Les mêmes effets se produiront selon que la ligne locale T, R*h*, T et la ligne réelle, comprenant L, C². G, P*a* le conducteur qui relie A et B, et les parties correspondantes du bureau B. auront les mêmes résistances ou des résistances inégales (28 et 29),

Or, la résistance de la ligne réelle est relativement considérable comparée à celle de la ligne locale, dont la longueur est très petite : il faut donc augmenter la résistance de celle-ci de manière à la rendre égale à celle de la ligne réelle.

On y parvient en intercalant un rhéostat R*h* dans son circuit, dont on fait varier la résistance jusqu'à ce que l'*équilibre* des circuits soit obtenu.

La résistance que l'on donne de prime abord au rhéostat dépend de la longueur de la ligne réelle dont la section moyenne est généralement de 4 millimètres et la résistance d'environ 10 *omhs* par kilomètre; puis on fait des essais pendant lesquels on augmente ou l'on diminue la résistance du rhéostat jusqu'à ce que le récepteur reste insensible au courant envoyé sur la ligne.

109. — Bien que le réglage semble bon dans ces conditions, il est encore nécessaire de continuer les essais, et de prier le correspondant de faire des traits et des points en même temps que l'on fait la même opération : si les points manquent ou que les traits soient coupés, cela vient de ce que la résistance de la ligne locale est plus grande que celle de la ligne réelle, et la résistance du rhéostat doit être diminuée ; si les points sont trop grands ou se confondent avec les traits, il faut augmenter la résistance du rhéostat.

110. — Il faut encore veiller au réglage des ressorts antagonistes de manière que l'armature ait une tension convenable, c'est-à-dire que la tension ne soit ni trop forte ni trop faible.

Ce réglage une fois obtenu ne doit pas être ensuite modifié; que la transmission soit simple ou en duplex, puisque les courants *reçus* ou *émis* seront toujours les mêmes.

C'est ordinairement le bureau principal qui commence le réglage.

111. — On peut encore procéder d'une autre manière pour obtenir l'*équilibre* des résistances entre la ligne réelle et la ligne locale : on bouche d'abord les ouvertures 1 et 2 du commutateur C^3 ; puis on se met sur contact, et l'on observe le galvanomètre G', intercalé sur le conducteur qui va de C^r à R*h* ; si l'aiguille dévie, on fait varier la résistance du rhéostat jusqu'à ce qu'elle reste au zéro, et l'équilibre cherché est réalisé. Puis, on continue les essais indiqués au nº 110.

Ce procédé est fondé sur le principe du *pont de Wheatstone*, dont nous parlerons plus tard.

112. — Quand le réglage est bien établi, si un courant est émis par le bureau A, il traversera donc le récepteur R sans que l'armature en soit influencée. Le même effet se produira au bureau B, si ce bureau envoie un courant sur la ligne.

113. — Pour examiner comment se fait la réception au bureau correspondant, supposons que le courant soit envoyé du bureau B au bureau A.

Le courant venant de la ligne arrivera au point L, puis au point I

(103). Ici le courant se trouve en présence de deux circuits : l'hélice n° 2 et la ligne locale, et le circuit de terre (103), dont la résistance est négligeable comparée à celle de la ligne locale. La plus grande partie du courant reçu de la ligne réelle passera donc par l'hélice n° 1 et le circuit de terre, tandis qu'une faible partie traversera l'hélice n° 2 et la ligne locale qui la complète. D'ailleurs ces deux courants traverseront l'électro-aimant dans le même sens, et leurs effets s'ajouteront l'un à l'autre : l'électro-aimant du récepteur sera donc aimanté, son armature fonctionnera, et reproduira les signaux envoyés du bureau B.

114. — Il est donc facile de comprendre comment peuvent être reproduits au bureau B les signaux envoyés du bureau A, puisque nous supposons qu'il existe une *symétrie* complète dans l'installation des deux bureaux.

III. — Transmission Duplex.

115. — Considérons maintenant le cas où les deux bureaux A et B envoient en même temps le courant sur la ligne.

Nous supposons d'abord que leurs piles soient semblables et qu'ils fassent usage du pôle positif (94 et 85)

Quand le courant envoyé par A sera arrivé à la borne I du récepteur R, il se trouvera en présence de deux circuits : le circuit de ligne et le circuit local. De même le courant envoyé par B se trouvera en présence de deux circuits identiques quand il parviendra à la borne correspondante de son récepteur : la ligne réelle formera donc un circuit commun aux deux bureaux ; donc les extrémités de la ligne principale seront au même potentiel.

Or, aucun courant ne peut se produire entre deux points qui sont au même potentiel : donc la ligne et les hélices de ligne des récepteurs des bureaux correspondants ne seront parcourus par aucun courant. Les courants envoyés simultanément par A et B s'écouleront à la terre à chacun de ces bureaux à travers l'hélice et la ligne locale.

Ainsi au bureau A, le courant arrivé à I s'écoulera à la terre à travers l'hélice n° 2, T, R*h* et T, et actionnera le récepteur R, qui

reproduira les signaux envoyés par B, tandis que celui-ci recevra pareillement et en même temps les signaux transmis par A.

116. — Dans la transmission en duplex, c'est donc dans chaque bureau le courant fourni par la pile dont il fait usage qui fait marcher son récepteur et reproduit à chacun d'eux les signaux qui correspondent aux mouvements du manipulateur du bureau correspondant

117. — Remarquons que les contacts des deux bureaux A et B peuvent ne pas être d'égale durée par suite de la différence des signaux à échanger, ou même n'être pas simultanés ; mais les signaux se forment de part et d'autre, d'après les effets de la transmission simple, quand l'un d'eux interrompt le courant, et suivant ceux de la transmission duplex, si l'envoi des courants se fait en même temps et avec la même durée (43).

Par exemple, un signal commencé au bureau A, quand B se met sur contact, se continue dès que A appuie également le manipulateur sur le contact d'émission et sous l'influence de son propre courant et *vice versa*.

Si les bureaux correspondants se servaient des piles par les pôles de noms contraires (pôle positif et pôle négatif), par exemple, on obtiendrait le même résultat que précédemment au point de vue de la transmission duplex (86 à 90).

IV. — Courant de charge et de décharge. Condensateur.

118. — Les bureaux duplexés sur les petites lignes ou les lignes moyennes ne dépassant pas 350 ou 400 kilomètres, donnent de bons résultats avec l'installation que nous venons d'exposer.

Mais sur les grandes lignes, cette installation serait insuffisante, à cause des courants de *charge* et de *décharge* qui auraient pour effet de dénaturer les transmissions, si des précautions n'étaient prises (72 et 73).

119. — On neutralise leur action perturbatrice en employant un

ou plusieurs ***condensateurs*** ou des ***bobines d'induction*** (74 à 80), et, dans certains cas, par l'emploi combiné des condensateurs et des bobines (81).

1. Réglage du Condensateur.

120. — Rappelons que pour obtenir un bon réglage, il faut que la charge et la décharge de la ligne locale fasse équilibre à la charge et à la décharge de la ligne réelle, de manière que leurs effets égaux et contraires étant ***neutralisés***, l'armature du récepteur n'en soit pas affectée.

Ce réglage se fait par tâtonnements, en tenant compte de la résistance de la ligne, qui est proportionnelle à sa longueur et en raison inverse de sa section, et aussi de sa capacité, qui dépend des dimensions du conducteur de ligne et des conditions où il est placé.

La capacité que l'on donne au condensateur est ordinairement de quelques ***microfarads.***

121. — On arrive facilement et promptement à un bon réglage avec un peu d'expérience.

Cependant, bien que le réglage paraisse satisfaisant après quelques essais, il peut arriver que les transmissions entre les deux correspondants soient défectueuses.

Par exemple, il peut se faire que les signaux soient dénaturés par des points étrangers aux transmissions : ce qui dénote un excès du courant de retour de ligne sur celui fourni par le condensateur, dont il faut augmenter la ***surface*** ou ***capacité.***

Si, au contraire, les points manquent ou des traits sont coupés, cela indique que le courant de retour de ligne est plus faible que celui du condensateur, dont la capacité doit être diminuée.

122. — Quant à l'installation des condensateurs et des bobines d'induction, elle est susceptible de varier suivant les besoins des lignes à desservir (77 à 81).

Généralement un seul condensateur suffit; ses armatures sont reliées à la ligne locale, l'une au-dessus du rhéostat Rh, et l'autre au-dessous ou à la terre (voir planche I).

2. Dérangements.

123. — L'état d'une ligne peut être sensiblement modifiée par des variations atmosphériques, capables d'altérer les transmissions. L'air sec, en diminuant les chances de perte d'une ligne, augmente aussi sa résistance et le courant devient plus fort et plus lent. L'humidité, au contraire, affaiblit la résistance d'une ligne, et, par suite, le courant de retour qui devient plus rapide.

Pour remédier à ces difficultés, la résistance du rhéostat et la capacité du condensateur doivent être augmentées dans le premier cas et diminuées dans le second, en tenant compte des indications relatives au réglage, qui ont été données plus haut (120 à 122).

V. — Sonnerie.

124. — Quand les bureaux correspondants cessent leur travail, la ligne doit être immédiatement reliée à la sonnerie S : il suffit, pour cela, de placer la fiche qui ferme l'ouverture 1 du commutateur C^2 dans l'ouverture 4 du même commutateur.

VI. — Règles de service et rendement.

125. — Pour éviter toute perte de temps, il faut, avant tout, établir une bonne entente entre les correspondants au début du travail.

Les télégrammes sont transmis par séries de 3, 4 ou 5, qui reçoivent successivement les numéros impairs 1, 3, 5, 7, etc., dans l'un des bureaux correspondants, A, par exemple, et les numéros pairs 2, 4, 6, 8, etc., dans l'autre bureau, qui est ordinairement moins important.

126. — La transmission de chaque série peut commencer par ces mots : « *Série 3 — x de y*..... et se terminer par les mots : *fin de série 3*. »

Chaque télégramme transmis doit être accompagné de son colla-

tionnement par les soins de l'agent transmetteur et recevoir, en marge, le numéro de la série à laquelle il appartient.

127. — Chaque série, une fois transmise, doit être suivie immédiatement d'un accusé de réception, à moins qu'elle ne donne lieu à une demande de rectifications ou de répétitions que l'on formule dans la forme suivante : *au n° 45, reçu 17 mots : je répète (suivent les initiales)*, — ou, en n° 55, *5e mot du texte et signature ?* etc.

128. — Dès que les rectifications sont obtenues, l'*accusé de réception* est donné immédiatement par le bureau qui reçoit, dans la forme suivante : *de X r. S 7 ;* — ou bien : *de X r 2 de S 7*, si la série 7 est incomplète.

129. — Dans chacun des bureaux correspondants, il est tenu deux procès-verbaux, l'un pour l'inscription des transmissions de départ, et l'autre pour celle des transmissions reçues.

130. — Chaque télégramme est porté sur le procès-verbal qui le concerne, suivant son ordre de transmission.

131. — Quand on passe de la transmission duplex à la transmision simple, les transmissions sont toutes inscrites sur le procès-verbal de transmission, dans la forme ordinaire.

132. — Le nombre de télégrammes transmis ou reçus peut s'élever, dans chaque bureau duplexé, de 40 à 50 à l'heure, et même dépasser cette limite, c'est-à-dire au double du rendement obtenu par le système de transmission simple.

SECTION III.

Morse installé en duplex différentiel par bifurcation

133. — Dans l'application du duplex au morse, au lieu d'employer des appareils pourvus d'*électro-aimants différentiels*, on

peut utiliser les appareils ordinaires. On les dispose de manière que le courant, en passant sur les deux branches de l'électro-aimant, produise des effets contraires, ou, en d'autres termes, développe aux extrémités correspondantes des deux branches des *pôles magnétiques* de *même nom*, dont les actions se combinent au lieu de s'ajouter comme dans un électro-aimant ordinaire ou différentiel.

134. — Remplaçons le récepteur différentiel R (planche I) par le récepteur ordinaire R (fig. 27).

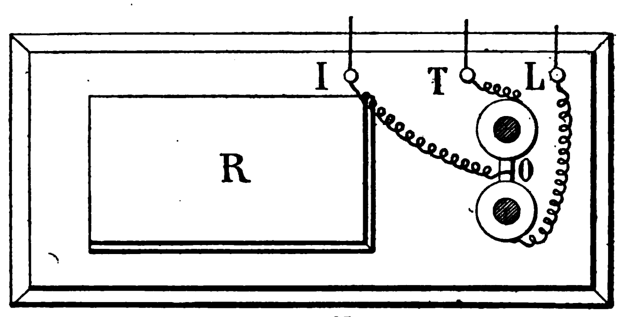


Fig. 27

Pour atteindre le but proposé, il suffit de relier la borne I au milieu de la culasse de l'électro-aimant, et, après avoir convenablement disposé les bobines, de mettre l'une d'elles en communication avec la ligne principale, et l'autre avec la borne T ou la ligne locale.

En effet, le courant de départ arrivé au point O se bifurque en deux parties égales (101 et suivants), l'une traverse la bobine qui communique à la borne L, et l'autre à la bobine en communication avec la ligne locale, qui commence à la borne T.

Le courant ayant le même sens dans les deux bobines y produit des effets *magnétiques* égaux et de même nature, qui s'annulent, et l'armature reste en repos.

Le courant qui vient de la ligne exercera, sur la première bobine, une action plus grande que celle qu'il produira sur la seconde, parce qu'elle recevra la plus grande partie du courant, qui se rendra

à la terre par la borne I et le circuit de terre, tandis qu'une bien faible partie traversera la bobine reliée à la bobine locale : la résistance de celle-ci est, en effet, considérable, comparée à celle du circuit de terre, qui est négligeable.

135. — Pendant la transmission en duplex, le courant passera seulement par la borne T (115), et l'appareil sera actionné au bureau A, reproduisant les signaux de B, où le récepteur, disposé comme celni de A, reproduira en même temps les signaux envoyés de ce dernier bureau.

136. — L'administration a déjà appliqué, avec un plein succès, ce mode d'installation sur les petites lignes et les lignes moyennes.

Cependant, cette disposition présente deux inconvénients, qui deviennent sensibles sur les grandes lignes.

1° Le courant de *départ* ou d'*arrivée* ne traverse qu'une des bobines de l'électro-aimant, et, par suite, la *force magnétique* qui en résulte est évidemment plus faible.

2° En outre, il est rare que les deux bobines aient une égale résistance, et, pour empêcher l'armature d'être attirée au passage du courant de départ, il est quelquefois nécessaire d'augmenter la tension du *ressort antagoniste* du récepteur.

SECTION IV.

Hughes

I. — Installation.

137. — L'application de la télégraphie duplex à l'appareil *hughes* offrait quelques difficultés, par suite des conditions particulières où se trouve cet appareil. Il y a une douzaine d'années, M. Ailhaud, savant électricien et haut fonctionnaire des télégraphes, a installé, avec un plein succès, entre Marseille et Paris, le nouveau service

des transmissions duplex, en prenant des dispositions particulières et en modifiant légèrement l'appareil hughes.

138. — Cette installation comporte deux hughes, l'un joue le rôle de *manipulateur*, et l'autre celui de *récepteur* (planche II).

1. Manipulateur.

139. — Le hughes *transmetteur* est figuré par la lettre M (planche II); son levier oscille entre le contact de pile *c* et celui de terre *d*.

Aucun courant ne traverse les bobines de cet appareil, qui peuvent être enlevées. L'impression est produite au départ par le système de déclanchement mécanique de MM. Mandroux et Terral.

Le courant se rendra du levier *fg* dans le *massif*, qui est relié par un fil auxiliaire avec la borne L et, de là, au *nœud* de l'*électro-aimant différentiel*, dont il sera parlé plus loin.

Une résistance R, égale à celle de la pile, est intercalée entre le contact *d* et la terre (45).

Le tablier de la lèvre supérieure du chariot a été réduit à 18 millimètres, ce qui, en diminuant la durée de l'émission, tend à diminuer la charge du conducteur, et, par suite, sa décharge. Elle a encore pour effet de contrebalancer l'action retardatrice de l'aimantation rémanente de l'électro-aimant du récepteur (85).

Pour compenser cette diminution de durée dans l'émission, on emploie des piles plus fortes, ce qui permet au courant d'agir plus rapidement à l'extrémité de la ligne, tout en circulant moins longtemps.

140. — Lorsqu'on manœuvre l'appareil hughes, comme tous les appareils, du reste (46), le hughes est momentanément isolé : ce qui a lieu, lorsque le levier *fg* passe du contact *d* au contact *c* et réciproquement. Mais cet isolement, loin d'être nuisible favorise, au contraire, la réception, et l'on a renoncé à y remédier pour le hughes de même que pour les autres appareils (46).

Pour empêcher cet isolement, il suffirait, en effet, de disposer l'appareil de manière qu'un contact ne fût abandonné qu'au moment où s'établirait le contact suivant.

2. *Récepteur.*

141. — Le hughes destiné à la réception des télégrammes d'arrivée, fonctionne dans les conditions ordinaires; il est représenté par la figure Rr (planche II).

3. *Relais différentiel.*

142. — Un ***électro-aimant différentiel non polarisé*** est employé comme ***relais***; il a été reconnu préférable pour cet usage à un relais polarisé dont on s'était servi au début.

Il est placé entre les hughes M et Rr. Son *armature* Ar ferme le circuit d'une pile locale P', dans le circuit de laquelle est intercalé le hughes récepteur Rr.

Cette armature est formée d'une ***palette*** assez semblable à celle du hughes, munie d'un long bras ou levier, ce qui rend son mouvement plus sensible. Le ressort antagoniste est un ressort-lame commandé par une vis.

Elle est placée entre les deux branches du relais, entre lesquelles elle peut effectuer un mouvement oscillatoire entre *a* et *b* pour fermer ou ouvrir le circuit de la pile locale P'. Les deux pôles de cette pile communiquent, en effet, l'un au contact *a* par la borne B et l'appareil récepteur Rr, et l'autre est rattaché au point A de l'armature par l'intermédiaire de la borne A'.

Les hélices de l'électro-aimant sont enroulées en sens inverses et forment deux circuits distincts; elles sont reliées l'une et l'autre par une extrémité à la borne E, qui est en communication avec le hughes transmetteur M, et, par l'extrémité opposée, l'une à la ligne principale par la borne D, et l'autre à la ligne locale par la borne F.

4. *Ligne locale.*

143. — Dans la ligne locale, qui est comprise entre la terre et la borne F, on intercale un ou deux rhéostats R' et R², dont la somme de leurs résistances doit être égale à la résistance de la ligne principale.

On peut, suivant les besoins, faire varier les résistances des deux rhéostats, mais leur somme doit toujours rester la même.

5. *Ligne de compensation.*

144. — La ligne de *compensation* (77) peut être rattachée à la ligne locale de diverses manières et se composer de bobines d'induction ou de condensateurs (73), qui sont d'un usage commode.

145. — Rappelons que leur objet est de compenser la charge et la décharge de la ligne. Cet équilibre de *capacité électrostatique* est obtenu au moyen d'une caisse à condensateurs J, dont les bornes *i*, *i'*, *i''*, *i'''*, *i''''*, etc., sont reliées à la terre, tandis que les bornes *l*, *l'*, *l''*, *l'''*, *l''''*, etc, aboutissent aux cinq lames parallèles du commutateur I.

La plaque longitudinale de ce commutateur qui, au moyen de bouchons métalliques, peut être reliée à volonté à une ou plusieurs des cinq lames parallèles, est réunie à travers un rhéostat R^3 à la borne de sortie du rhéostat R^1. On peut donc, au moyen de ce commutateur, prendre dans la caisse la quantité de *microfaraos* nécessaire à l'équilibre.

146. — Le rhéostat R^3 est destiné à ralentir la vitesse avec laquelle le condensateur se charge et se décharge (81).

Pour que la ligne réelle et la ligne locale soient dans des *états électriques* semblables, il faut, en effet, que le condensateur fasse équilibre à la *charge* et à la *décharge* de la ligne réelle, non seulement comme *quantité*, mais aussi comme *vitesse d'écoulement* (81).

Le rhéostat R^3 ne modifie d'ailleurs en rien la charge que prend le condensateur, et, par suite, sa décharge en tant que quantité.

Nous pouvons comparer le rôle qu'il joue, pour le mettre mieux en évidence, à celui du goulot à dimensions variables d'une bouteille que nous remplirions et que nous viderions ensuite : il est évident que ces deux opérations se feront plus vite ou plus lentement, selon que le goulot de la bouteille sera plus large ou plus étroit.

De même, en faisant varier la résistance du rhéostat R^3, qui fait l'office du goulot de la bouteille, on élargit ou on retrécit l'orifice du condensateur, qui se remplit et se vide plus vite ou plus lentement, bien que sa capacité reste la même.

147. — L'emploi des rhéostats R^1 et R^2, dans le circuit de la

ligne locale, est une heureuse disposition qui permet de faire varier jusqu'à de très-petites limites la charge du condensateur.

Si nous mettons un conducteur A B (fig. 28) en communication avec une pile constante P, d'un côté, et de l'autre à la terre, nous verrons bientôt que le potentiel décroît progressivement de la pile, où il est maximum, à la terre, où il est égal au zéro (89, 171 et 172).

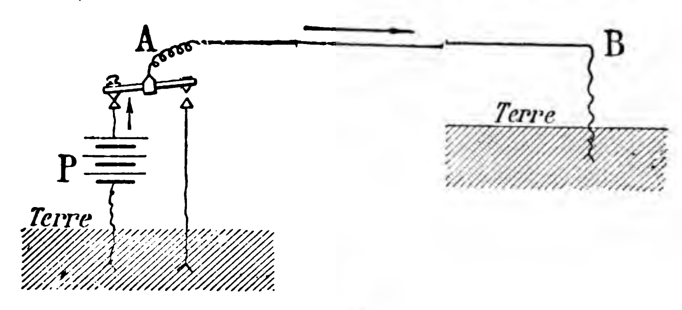


Fig. 28

.— La charge que prend un conducteur A B en communication avec la pile P par l'extrémité A, et la terre par l'extrémité B, est proportionnelle au potentiel de la pile constante P.

149. — D'après cela, si les condensateurs ne donnent pas des quantités inférieures à 1/2 microfarad, le rhéostat R¹ permettra de descendre au-dessous de cette limite.

Supposons, en effet, que la résistance de la ligne locale soit de 600 ohms, nous pouvons indifféremment porter cette résistance soit sur le rhéostat R² ou seulement sur le rhéostat R¹, ou la répartir entre les deux.

150. — Quand nous la portons en entier sur le rhéostat R², le condensateur prend une charge proportionnelle au potentiel du point O (147 et 148), sans être influencé par le rhéostat R¹ ; mais, si nous élevons ce dernier à une certaine résistance (qui doit toujours être très-faible), en *diminuant d'autant* la résistance de R², le potentiel au point O sera modifié, puisque le courant, avant

d'y arriver, trouve une résistance qui n'existait pas dans le cas précédent, et la charge sera modifiée dans le même sens. Il en sera de même de la décharge, qui, au point O, se partagera en raison inverse des résistances entre le circuit du rhéostat R^2 et la terre d'une part, et le circuit du rhéostat R^1 et de l'hélice du relais à laquelle est relié ce dernier, d'autre part.

Plus la résistance de R^1 s'accroîtra, et moins la décharge du condensateur se fera sentir dans les hélices.

II.— Marche du courant, transmission et réception.

151. — Supposons qu'un seul bureau transmette, Marseille, par exemple; dès que l'appareil M′ est manœuvré, le levier *fg* vient buter contre le contact de pile C, et un courant passe à travers le massif métallique de l'appareil, sort par la borne L et arrive à l'entrée du relais par la borne E, où il se bifurque en deux parties égales entre les deux hélices du relais, par suite de l'égalité des résistances entre les hélices et les lignes dont elles font partie: la ligne principale et la ligne locale (143).

L'armature du relais, par suite de l'action égale et contraire des deux courants qui traversent le relais en sens inverse, reste en repos (28).

Le courant, qui se rend sur la ligne principale, traverse au bureau correspondant, dont l'installation est identique à celle du premier, l'hélice rattachée à la ligne, et actionne l'armature du relais: celle-ci vient buter contre le contact *a*, et ferme le circuit de la pile locale P; la *palette* du hughes-récepteur se met en mouvement, et un caractère est imprimé.

152. — Quant à la partie du courant qui, au bureau de départ, se rend à la terre par la ligne locale, elle charge le condensateur J. Lorsque le levier *fg* du transmetteur revient au repos, la décharge du condensateur s'opère, partie à travers R^2, et partie à travers R^1 et les hélices du relais, où elle annule le *courant de retour* venant de la ligne, qui est de même nature, de même force, et de sens inverse. Nous supposons, en effet, que les bureaux correspondants ont des piles identiques, et qu'ils font usage du pôle positif.

153. — Si le deux bureaux correspondants transmettent simultanément, les deux leviers *fg* de leurs manipulateurs se mettent en même temps sur contact : la ligne et les hélices des relais des deux bureaux auxquelles elle est reliée ne sont parcourues par aucun courant, tandis que le courant émis à chaque bureau se rend à la terre en passant par l'hélice du relais à laquelle aboutit la ligne locale que traverse le courant.

Le passage de ce courant, à travers l'hélice et la ligne locale, a pour effet :

1° De mettre en mouvement l'armature du relais qui ferme le circuit de la pile locale P', et, par suite, de faire fonctionner le hughes récepteur, qui reproduit les signaux envoyés par le bureau carrespondant ;

2° De produire dans le condensateur les phénomènes de charge et de décharge (145 et 146).

III.— Réglage des circuits.

1. Ligne locale.

154. — Le réglage de la ligne locale a pour objet d'équilibrer la résistance de la ligne et celle de la ligne locale.

Pour effectuer cette opération, l'installation a été complétée par un circuit auxiliaire DKGF, qui part du point D, où commence la ligne principale, et finit au point F, où prend naissance la ligne locale. Uu *interrupteur* K, et un galvanomètre G, sont intercalés dans ce circuit, qui est dans les mêmes conditions que le *pont* de *Wheatstone*, dont les propriétés seront expliquées plus loin.

On bouche ensuite l'interrupteur K, et l'on met l'appareil M sur contact : si la ligne principale et la ligne locale sont en équilibre de résistance, le courant émis, arrivé au point E, se partagera en deux parties égales, qui se dirigeront, l'une sur la ligne réelle, et l'autre sur la ligne locale, en passant à travers les relais sans qu'il en soit influencé (104 et suivants); aucun courant ne passera dans le circuit auxiliaire, et le galvanomètre G restera en repos.

Si l'équilibre n'est pas établi, le courant émis se partagera, à partir du point E, en deux parties inégales, entre l'hélice de ligne et l'hélice locale, et le relais sera actionné; en outre, les deux

points E et D ne seront pas au même potentiel, et une partie du courant passera à travers le circuit auxiliaire, et produira la dédéviation de l'aiguille du galvanomètre G.

Ce n'est donc que lorsque l'aiguille restera en repos que l'équilibre cherché sera réalisé.

A cet effet, on maintient le hughes M sur contact, et l'on fait varier la résistance des rhéostats R^1 et R^2, où celle de l'un deux seulement, jusqu'à ce que l'aiguille soit ramenée au zéro (111).

155. — Rappelons que si la ligne locale comprend plusieurs rhéostats, c'est la somme de leurs résistances qui doit être égale à celle de la ligne réelle. Cette somme, avons-nous dit (143), doit toujours être maintenue, même s'il devenait utile, dans la suite, de faire varier le rapport des résistances des deux rhéostats (146 et suivants).

156. — Le réglage des résistances obtenu, on met le transmetteur en mouvement en faisant des *blancs* : si le condensateur ne fournit pas un courant de décharge égal au courant de retour de la ligne, l'aiguille du galvanomètre G reçoit une série d'impulsions, et l'on passe au réglage du condensateur.

2. Ligne de compensation.

157. — Pour régler le condensateur, on fait varier le nombre de microfarads au moyen du commutateur I, jusqu'à ce que les déviations du galvanomètre G diminuent; puis on perfectionne ce réglage en modifiant les résistances respectives des rhéostats R^1, R^2 et R^3. Mais il faut avoir soin de conserver aux deux rhéostats R^1 et R^2 la somme des résistances données par le réglage normal, c'est-à-dire que si l'on augmente de 10, 20, 50, 100, etc,, ohms ou unités, la résistance du rhéostat R^1, il faut diminuer d'autant celle celle du rhéostat R^2, et *vice versa.*

158. — Quant au réglage du rhéostat R^3, il est indépendant des deux autres, et ce n'est qu'en tâtonnant qu'on y parvient.

3. Observations particulières relatives au réglage.

159. — Pendant les essais qui viennent d'être exposés, le bureau

correspondant, prévenu par le contact de son récepteur, doit attendre la fin de ce travail avant d'envoyer son courant sur la ligne.

Ces essais terminés, on enlève le bouchon de l'interrupteur K, et l'on passe au réglage du synchronisme comme dans le cas des transmissions simples; il est bon, en pareil cas, de ne pas dépasser une vitesse moyenne, un travail lent et régulier convenant beaucoup mieux qu'un travail rapide et d'une constance incertaine.

Il est bon de régler les *blancs* à 15 tours au moins; quant aux INT, ils doivent produire dans le relais un son net et distinct : l'oreille est le meilleur guide.

160. — Dès que ces opérations sont terminées, ce qui demande peu de temps, c'est au bureau correspondant à faire le même réglage; puis, des lettres ou des mots sont échangés à titre d'essai, et l'on passe de suite au travail des transmissions.

161. — Il importe surtout que l'agent chargé de la réception lise la bande attentivement; et, qu'en cas de *déraillement*, il prévienne immédiatement son collègue transmetteur qui, sans s'interrompre arrête la transmission, et indique à son correspondant le mot où il doit reprendre la transmission, et le service est continué des deux côtés.

162. — Il ne faut pas oublier que les variations d'intensité, dues aux variations de résistance de la ligne, portent sur le relais et non sur le hughes récepteur. C'est donc le réglage des relais qui doit être modifié, et non celui du hughes récepteur. Quant ce dernier a été réglé à son maximum de sensibilité, il n'y a que rarement lieu d'y toucher; toutefois, il ne faut pas perdre de vue que les deux réglages se complètent l'un l'autre.

IV. — Dérangement.

163. — En cas de dérangement, on peut vérifier rapidement l'installation de la manière suivante :

Le circuit local du récepteur est bon, si la palette du hughes se soulève lorsqu'on appuie légèrement avec le doigt sur l'armature du récepteur.

Si on détache la ligne locale en R^2, tout le courant doit passer dans le circuit de la ligne réelle; et un fil établi du plot O L à

une sonnerie ou un récepteur Morse accusera le passage de ce courant. De même, en isolant la ligne au plot O L, et en reliant la borne de sortie du rhéostat R^2 à la même sonnerie ou au récepteur Morse, on vérifiera la continuité de la ligne locale.

Dans cette dernière expérience, il faut avoir soin de détacher au point O le fil du condensateur, pour soustraire la ligne de compensation aux dérangements qui pourraient se produire dans cette partie de l'installation.

V. — Règles de service et rendement.

164. — Nous renvoyons le lecteur aux numéros 125, 126 et suivants pour les règles de service, lesquelles sont à peu près les mêmes que celles du même service appliqué au Morse.

165. — Ce nouveau système de transmission a fonctionné longtemps à Marseille où il a donné d'excellents résultats.

Le rendement ordinaire a été de 80 à 95 et même 100 télégrammes à l'heure ; cette moyenne peut être dépassée sur les petites lignes et les lignes moyennes.

VI. — Relais des bureaux intermédiaires.

166. — Quand les bureaux correspondants sont très éloignés l'un de l'autre, la pile du bureau de *départ* peut ne pas être assez puissante pour fournir un courant capable de produire un effet suffisant sur le récepteur du bureau d'*arrivée* : l'intensité d'un courant est, en effet, en *raison inverse* de la résistance du circuit, qui devient très considérable sur les grandes lignes.

A cette cause d'affaiblissement du courant s'ajoutent encore des *pertes à la terre* sur le parcours de ces lignes, qui ne sont jamais complètement isolées.

167. — On remédie à ces inconvénients en plaçant dans le bureau intermédiaire situé vers le milieu du conducteur qui dessert deux

bureaux extrêmes, un appareil *spécial* qui, actionné par le courant reçu, ferme le circuit d'une pile disposée à cet effet dans ce bureau, et envoie son courant au bureau d'*arrivée*, dont il actionne le *récepteur ;* et celui-ci reproduit ainsi les signaux du bureau de *départ*.

La pile du bureau intermédiaire est appelée *pile locale*, et l'appareil, qui la met en communication avec la ligne, se nomme *relais*.

168. — Pour favoriser le service en duplex entre Paris et Marseille, M. Ailhaud a fait établir un relais à Lyon.

Dans cette installation, la ligne locale n'est pas constituée tout à fait comme celle de Marseille : l'équilibre de charge est obtenu au moyen de deux condensateurs, l'un C^1 (fig. 29), aboutissant à l'entrée du premier rhéostat R^1, et l'autre, C^2, à l'entrée du second rhéostat R^2.

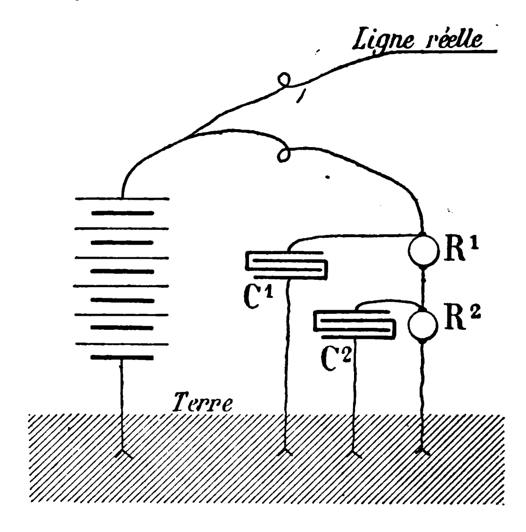


Fig. 29

169. — Il n'existe pas un troisième rhéostat pour régler la vitesse de la décharge. En outre, la décharge du condensateur C^1 ne

peut jamais être modifiée, et celle du condensateur C^2 ne l'est que tout autant qu'on donne une certaine valeur au rhéostat R^2. Il faut sans doute attribuer à cette modification dans l'installation, la différence considérable de microfarads employés à Lyon et à Marseille : 5 à 5 1/2, dans le premier bureau, tandis qu'il suffit de 1/2 à 2 microfarads dans le second.

SECTION V.

Lignes souterraines et sous-marines.

170. — Le duplex sur les lignes *souterraines* et *sous-marines* présente de bien plus grands avantages que son application aux lignes aériennes, puisqu'il permet de doubler le rendement sans augmenter le nombre de ces lignes dont les dépenses d'établissement sont considérables. Mais les phénomènes de condensation auxquels elles donnent lieu nécessitent des précautions ou des dispositions particulières dans l'installation de ce service sur lesquelles nous reviendrons plus tard.

DEUXIÈME PARTIE

MÉTHODE DU PONT

CHAPITRE PREMIER

Notions préliminaires.

SECTION I.

Variations du potentiel le long du circuit ou chute du potentiel.

171. — Si l'on relie le pôle négatif d'une pile P à la terre, et le pôle positif à l'extrémité A d'un conducteur *uniforme*, c'est-à-dire de nature et de section constantes, et dont l'extrémité opposée B soit à la terre (fig. 31), le potentiel du courant. maximum au point A, baissera graduellement le long du conducteur de A à B, où il deviendra égal à celui de la terre, ou à zéro.

On appelle *chute du potentiel* la décroissance graduelle que subit le potontiel électrique suivant le sens du courant.

172. — Elle peut se déduire des principes suivants :

1° *Un courant ne peut s'établir entre deux points, qu'autant qu'il existe entre eux une* différence de potentiel.

2° Son *intensité* est proportionnelle à la différence de potentiel *qui existe entre les deux points donnés*, et *en raison inverse de la résistance du conducteur qui les relie*.

3° L'*intensité du courant est la même à tous les points du circuit.*

173. — Supposons que le conducteur A B (fig. 30) soit le siège d'un courant permanent ou stable, dû à une différence de potentiel entre A et B.

A ——————→—————— B

Fig. 30

Soient V et V' les potentiels des deux points A et B, r la résistance du conducteur qui les relie, et I l'intensité du courant.

D'après les propositions qui précèdent (172, 1°, 2° et 3°), nous aurons :

$$\frac{V - V'}{r} = I, \text{ ou } V - V' = I\,r$$

D'où nous concluons que la *différence* des *potentiels* entre les deux points d'un circuit est égale au produit de l'intensité du courant par la résistance du conducteur qui les relie.

174. — Si nous supposons un conducteur AB (fig. 31) en communication avec une pile P par l'extrémité A, dont le potentiel est V, et à la terre par l'extrémité opposée B, dont le potentiel est zéro (89), la différence des potentiels entre les deux extrémités du conducteur sera $V - o = V$.

En représentant par r la résistance du conducteur, et par I l'intensité du courant, nous aurons encore :

$$\frac{V}{r} = I, \text{ ou } V = Ir.$$

Si nous considérons un point quelconque x, par exemple, sur ce conducteur, son potentiel v sera égal au produit de l'intensité I par la résistance r' de la partie du conducteur comprise entre x et B, et nous aurons :

$$v = I\,r'.$$

r' est évidemment plus petit que r, car la partie est plus petite

que le tout, et le produit I r' moindre que I r : par suite nous aurons aussi :

v plus petit que V.

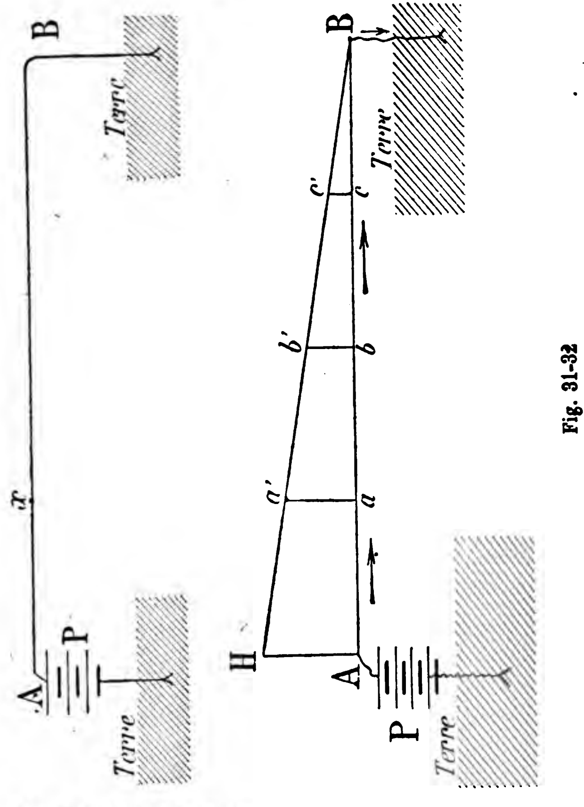


Fig. 31-32

Or, le produit I r', qui exprime la valeur du potentiel d'un point quelconque x, sera d'autant plus petit que ce point s'éloignera de A; il diminuera donc graduellement pour chacun des points du conducteur A B en allant de A à B, où il sera nul : donc le potentiel du curant qui parcourt le conducteur A B, maximum au point A,

décroît graduellement aux divers points du circuit de A à B, où il est nul.

175. — On peut encore mettre graphiquement en évidence la chute du potentiel.

Supposons que le conducteur A B (fig. 32), de nature et de section constantes, et d'une résistance de 200 ohms, par exemple, soit mis par l'extrémité A en communication avec une pile constante P, et à la terre par l'extrémité B, dont le potentiel sera zéro (89).

Ce conducteur sera le siège d'un courant, qui deviendra promptement stable.

Soit V le potentiel du point A, que nous représentons par la perpendiculaire A H, à une échelle quelconque ; tirons la droite H B, et les perpendiculaires *aa'*, *bb'*, *cc'*, etc.

Ces perpendiculaires, comparées à A H, de même que celles que l'on pourrait élever par chacun des points du conducteur A B, représenteront la valeur relative du potentiel du courant à chacun des points qui correspondent aux *pieds* des perpendiculaires, ou les valeurs décroissantes du potentiel du courant du point A, où le potentiel est maximum, au point B, où il est zéro.

En effet, au point A, le potentiel

$$V = I \times 200 \text{ ohms (173 et 174).}$$

Supposons que le point *b* occupe le milieu du conducteur A B, dont la résistance sera $\frac{200}{2}$ ohms ; son potentiel que nous représentons par *v*, sera :

$$v = I \times \frac{200}{2} \text{ ohms}$$

Ce produit, n'étant que la moitié du précédent nous avons donc :

$$v = \frac{V}{2}$$

Si la perpendiculaire *bb'* représente la valeur du potentiel du point *b*; elle sera égale à la moitié de A H, qui exprime le potentiel du point A.

En effet, les triangles semblables AHB et *bb'* B donnent :

$$\frac{AB}{bB} = \frac{AH}{bb'}$$

Or,

$$bB = \frac{AB}{2}$$

donc

$$bb' = \frac{AB}{2}$$

Par des raisonnements analogues aux précédents, on prouverait que le potentiel d'un *courant négatif accroît graduellement* suivant le sens du courant aux divers points d'un circuit.

176. — D'ailleurs l'existence des courants négatifs est purement fictive : dire qu'on envoie un courant négatif d'un point A au point B, c'est disposer les choses de façon qu'un courant arrive du point B au point A. En effet, les courants ont pour cause des différences de potentiel (172,1°), et sont toujours dirigés du point dont le potentiel est le plus élevé vers celui dont le potentiel est plus bas : donc, d'après ce qui précède, le courant qui va de B à A sera négatif considéré en sens inverse de A à B.

Il est encore évident que, dans ce dernier cas, les modifications que subit le potentiel ou courant, et qui sont graduellement décroissantes de B à A, seront inversement croissantes en examinant les effets du courant de A à B.

On pourrait encore démontrer expérimentalement la baisse graduelle du potentiel suivant le sens du courant aux divers points d'un circuit, au moyen d'un électromètre et d'une caisse de résistances.

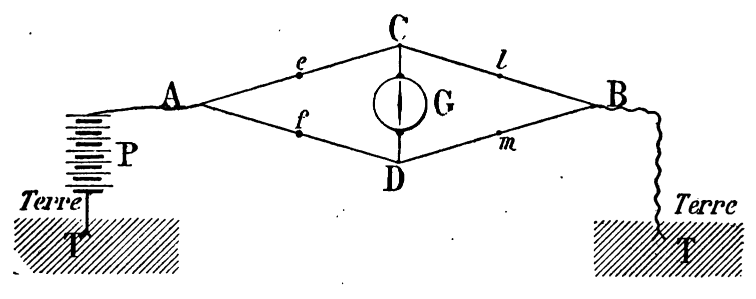
SECTION II.

Pont de Wheatstone.

177. — On appelle *pont de Wheatstone* une *dérivation* établie avec les deux côtés d'un circuit bifurqué entre deux de ses points.

Tel est le circuit TPABT (fig. 33), bifurqué en forme de losange ACBD entre les deux points A et B ; le conducteur dérivé qui relie les deux sommets opposés C et D, constitue le *pont*, dans lequel on intercale un galvanomètre G.

Le point A est la *tête* du pont; AC, le *côté* ou la *branche supérieure;* AD, le *côté* ou la *branche inférieure;* les points C et D sont dits les *nœuds* ou les *sommets* du pont.



Fig· 33

Nous supposons les deux conducteurs dérivés ACB et ADB homogènes, de même section et d'égale longueur : par suite, les résistances des deux conducteurs sont parfaitement égales et uniformes.

Relions au point A le pôle positif d'une pile P, et amenons le point B à la terre. Les côtés AC et CB ou ACB et ADB, compris entre A et B, et ayant des résistances égales, seront parcourus par des courants égaux, c'est-à-dire ayant la même intensité (172).

La chute du potentiel se fera donc sur chacun d'eux de la même manière, et les points d'un côté seront respectivement au même potentiel que les points correspondants du côté opposé, tels que *e* et *f*, C et D, *l* et *m*, etc.

Prenons, par exemple, les points C et D. Ces deux points se trouvent à égale distance de A et B : les deux conducteurs CB et DB, dont ils font partie, ont donc la même résistance R; par suite C et D, qui se correspondent dans les deux côtés ACB et ADB, seront au même potentiel.

En effet, désignons par v le potentiel de C, et par v' celui de D; nous aurons :

pour C

$$v = \mathrm{I\,R}\ (173);$$

et pour D,

$$v' = \mathrm{I\,R};$$

d'où

$$v = v$$

Par suite le pont CGD ne sera traversé par aucun courant (172,1°); il prendra seulement le même potentiel que les points C et D, et le galvanomètre G restera au zéro.

178. — Nous prouverions, par un raisonnement analogue, qu'il en serait de même si le pont était placé entre *e* et *f*, *l* et *m*, ou entre deux points quelconques pris dans les mêmes conditions.

179. — Cependant, si l'on plaçait le pont entre *e* et *m* (fig. 34), il serait traversé par un courant, parce que *e* étant plus éloigné de B que *m*, a une résistance plus grande ou un potentiel plus élevé que celui de ce dernier point, et ce courant serait indiqué par la déviation du galvanomètre.

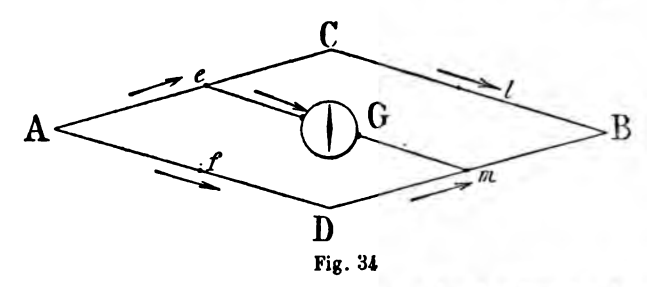


Fig. 34

180. — Ce mouvement d'électricité entre les deux branches du pont peut être comparé à celui de l'eau dans des canaux disposés dans les mêmes conditions que les branches ACB et ADB, c'est-à-dire de section, de longueur et de pentes identiques; partant d'un niveau A (fig. 35), et aboutissant à un point B d'un niveau in-

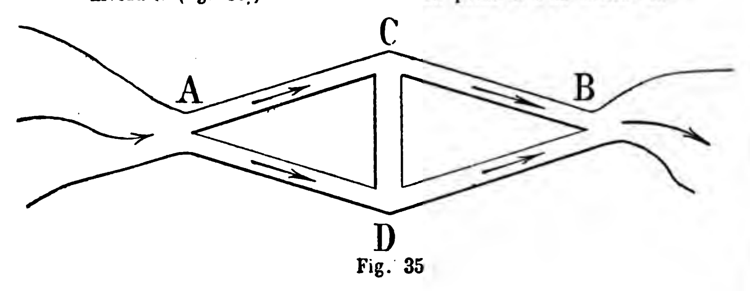


Fig. 35

férieur. Ces deux canaux seront évidemment parcourus par des quantités égales d'eau (172).

Si on place un tuyau ou un canal de communication CD entre les deux points C et D, que nous supposons au même niveau, aucun courant ne s'établira à travers ce tuyau ou canal une fois rempli, puisqu'il n'y a pas de force capable de l'y produire dans un sens plutôt que dans un sens opposé.

181. — La ***réciproque*** du principe du pont est également vraie, c'est-à-dire que si aucun courant ne passe dans le pont CGD (fig. 33), nous aurons :

$$\frac{\text{résistance AC}}{\text{résistance AD}} = \frac{\text{résistance CB}}{\text{résistance DB}}$$

En effet, un courant ne peut passer entre les deux points C et D, que s'il existe entre eux une *différence* de *potentiel* (172,1°) : donc les deux points C et D sont au même potentiel.

Désignons par v le potentiel commun aux points C et D, par V et V' ceux des points A et B.

Nous aurons donc pour les côtés AC et CB :

$$V - v = IAC, \text{ ou } \frac{V - v}{AC} = I;$$

et

$$v - V' = ICB, \text{ ou } \frac{v - V'}{CB} = I;$$

d'où

$$(1) \qquad \frac{V - v}{AC} = \frac{v - V'}{CB}.$$

Pour les conducteurs AD et DB, nous aurons encore :

$$V - v = IAD, \text{ ou } \frac{V - v}{AD} = I;$$

et

$$v - V' = IDB, \text{ ou } \frac{v - V'}{DB} = I;$$

d'où

$$(2) \qquad \frac{V - v}{AD} = \frac{v - V'}{DB},$$

Ce qui donne, en divisant membre à membre les égalités (1) et (2),

$$\frac{AC}{AD} = \frac{CB}{DB},$$

ce que nous voulions prouver.

182. — N'oublions pas que AC, CB, AD et DB sont envisagés au point de vue des résistances des conducteurs qu'ils représentent.

183. — Remarquons encore que la relation des résistances des côtes du pont (177 et 181) est susceptible de modifications, sans que le principe du pont en soit altéré.

$$\frac{AC}{AD} = \frac{CB}{DB},$$

Ainsi on peut : 1° multiplier ou diviser par un nombre quelconque les deux termes du premier rapport, ou les deux termes du second, ou bien les deux termes de chaque rapport ; 2° multiplier ou diviser par un nombre quelconque l'un des termes du premier rapport, et le terme correspondant du second.

Ces principes sont la conséquence des propriétés dont jouissent les identités, les égalités ou les équations.

Par exemple, si

$$\frac{AC}{AD} = \frac{CB}{DB} \text{ (177)},$$

nous aurons, en divisant par 2 le second terme de chaque rapport :

$$\frac{AC}{\frac{AD}{2}} = \frac{CB}{\frac{DB}{2}}$$

CHAPITRE II

Procédés de transmission.

SECTION I.

Considérations générales.

184. — Les quatre branches AC, CB, AD et DB, entre lesquelles nous avons placé le pont CGD, n° 177, figure 33, forment un losange ACBD; c'est ordinairement ainsi que l'on représente un semblable circuit pour expliquer le principe du *pont* de *Wheatstone*, dont l'application est fréquente dans les *essais* ou *expériences électriques* ou *télégraphiques*.

Mais si la forme d'un losange, ou bien d'un carré, permet plus que tout autre d'exposer clairement le principe du pont, elle est loin d'être conservée dans la pratique, et peut, sans inconvénient, subir les modifications les plus variées.

185. — L'application du *pont* de *Wheatstone*, aux circuits de bureaux télégraphiques, a permis de *duplexer* ces derniers, mais dans des conditions un peu moins favorables que par la méthode différentielle.

186. — Avant d'exposer ce nouveau mode de transmission du

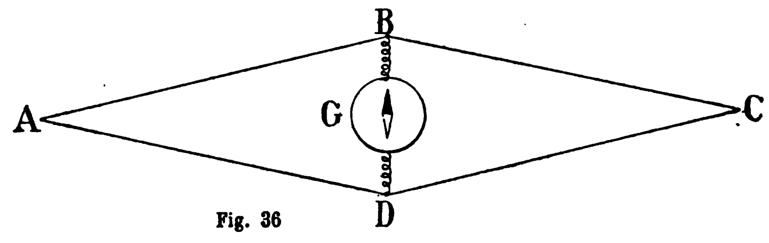


Fig. 36

plex, considérons le circuit ci-dessous ABCD, et, entre les points B et D, jetons le pont BGD (fig. 35).

Si, en envisageant les côtés AB, BC, AD et DC, au point de vue de leurs résistances, nous avons

$$\frac{AB}{AD}=\frac{BC}{DC},$$

le pont ne sera dont pas traversé par le courant qu'on pourra envoyer dans ce circuit du point A au point B (177).

187. — Relions le pôle positif d'une pile P au point A, et le point C à la terre;

Mais, sans rien changer aux conditions du pont BGD, nous pouvons mettre séparément à la terre les côtés BC et DC, que nous nommerons BC et DC' (fig. 37);

Intercalons dans les branches du pont les résistances R, R^1, R^2 et R^3;

Arrivé au point A, le courant se partage en deux parties ou courants, qui suivent, l'un le côté ARBR'C, et l'autre le côté AR^2 DR^3C', et leur intensité est en raison inverse de la résistance des côtés.

Si nous faisons R = 2000 ohms, R^1 = 6000, et R^2 = 1000, pour rester dans les conditions du pont, nous ferons R^3 = 3000 ohms (177 et 183).

Le courant, qui passera dans la branche inférieure du pont, aura donc une intensité double de celui qui traversera la branche supérieure, mais les points B et D, par exemple, qui se correspondent dans les deux branches, seront au même potentiel (177) : il existera toujours, en effet, entre les quatre côtés du pont, la relation

$$\frac{AB}{AD}=\frac{BC}{DC}\ (177,\ 181\ \text{et}\ 183).$$

En effet, si nous représentons par V le potentiel du point A, commun aux deux côtés ABC et ADC', par :

v, le potentiel du point B;

v' celui du point D;

r, la résistance de AB;

celle de AD;

I, l'intensité du courant qui circule entre A et B;

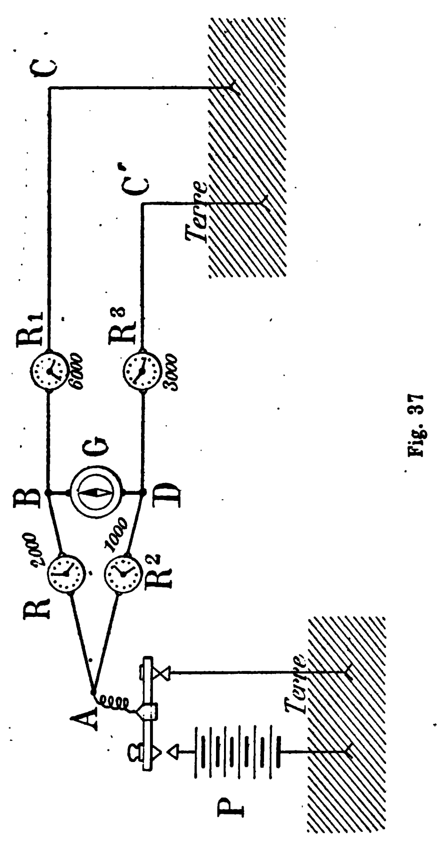


Fig. 37

2I, celle du courant qui circule entre A et D, puisqu'elle est double du courant qui précède, nous aurons :

$$V - v = Ir, \text{ ou } V - v = 2000\ I;$$

et

$$V - v' = 2Ir, \text{ ou } V - v' - 2000\ I;$$

d'où

$$V - v = V - v';$$

ou

$$v = v'.$$

Donc, les points B et D seront au même potentiel ; le pont BGD ne sera parcouru par aucun courant (177), et le galvanomètre restera au zéro (177).

Nous allons montrer ci-après comment la nouvelle disposition, que nous venons de donner aux côtés du pont, offre le moyen pratique de faire de la Télégraphie *duplex* (188).

SECTION II.

Installation théorique en duplex par le Pont.

188. — La forme particulière du circuit ci-dessus, n° 187, fig. 33, peut être utilisée, avons-nous dit, pour le fonctionnement du service télégraphique en duplex.

Si, en effet, nous remplaçons le galvanomètre qui figure dans la diagonale ou pont *bd*, par un récepteur, celui-ci ne sera pas actionné par le courant de *départ*, puisqu'il ne passera aucun courant dans le pont (187). Il reste à examiner si le récepteur du bureau correspondant fonctionnera convenablement sous l'influence de ce courant, et *vice versa*, et si, au cas où les bureaux duplexés dans ces conditions transmettaient en même temps, les télégrammes seraient reçus de part et d'autre.

Prenons, par exemple, la ligne L (fig. 38), et, aux bureaux X et Y qu'elle dessert, installons deux circuits de ce genre; relions la ligne aux côtés AB et A'B'.

Les deux autres côtés du pont AD ou A'D', aboutissent aux lignes locales, que l'on complète dans chaque bureau par un ensemble de rhéostats et de condensateurs, comme dans l'installation du différentiel, afin d'obtenir un équilibre parfait entre la ligne locale et la ligne principale, sous le double rapport de la résistance et de la capacité électrostatique.

189. — Nous verrons plus loin pourquoi, dans le duplex pont, il est utile que les récepteurs employés à cet usage offrent peu de résistance par rapport aux autres parties du circuit (192).

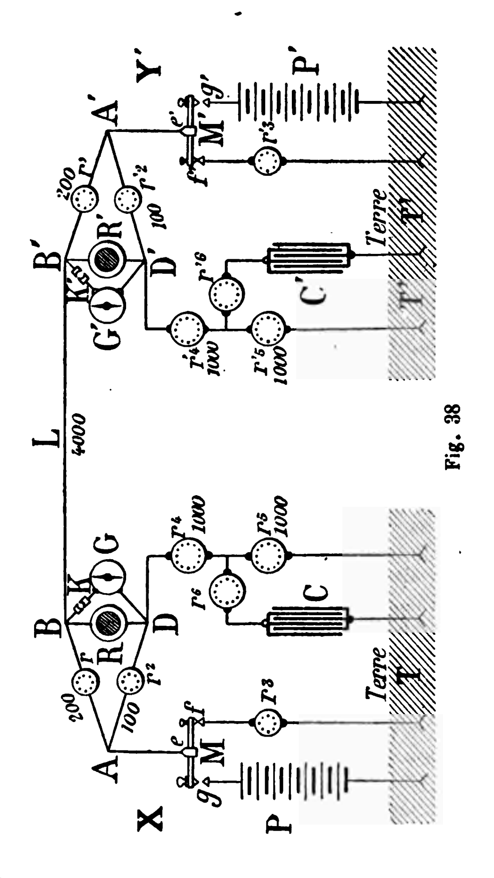


Fig. 38

190. — Nous supposerons, en outre, que les piles soient identiques aux deux bureaux correspondants, et que leurs pôles négatifs soient à la terre.

191. — Reprenons les différents cas de transmission simple et duplex que nous avons établis pour la méthode différentielle (27 et 36).

SECTION III.

Transmission simple.

Premier cas. Le bureau X transmet seul.

192. — Les deux branches AB et AD du pont BRD (fig. 34) n'ayant pas la même résistance, le courant qui part de la pile P, quand le manipulateur M est sur le contact d'émission *g*, arrivé au point A, se partage inégalement entre les deux branches du pont ou la ligne *réelle* et la ligne *locale*. Mais les points B et D ayant le même potentiel (187), les courants seront sans effet sur le récepteur R.

Quant au courant de ligne, arrivé au point B', il se trouve en présence de deux circuits pour se rendre en A', et, de là, au sol par la ligne de terre A' $e'f'r'^3$ T', l'une par B'A' dont la résistance est, par hypothèse, de 200 ohms, et l'autre par B'R'D'A' dont la résistance est moitié moindre, mais qui est augmentée de celle du récepteur R' qui, avons-nous dit (188), est à peu près négligeable.

L'hélice locale de l'électro-aimant du récepteur R' au bureau Y sera donc parcourue par un courant d'une intensité presque double de celui qui passera dans le grand côté B'A' du pont; et le récepteur R', R' sera actionné par le courant d'arrivée. C'est pour favoriser ce résultat que le récepteur doit être de petite résistance, et que l'on donne aux deux côtés du pont une résistance inégale.

193. — Remarquons encore que le courant qui traverse le récepteur R', arrivé au joint D', se trouve encore en présence de deux circuits : la ligne locale D' r^4 r^5 T' et le circuit de terre proprement dit D'A'$e'f'r^3$T. Or, la résistance du premier circuit est considérable par rapport à celle du second : c'est donc par ce dernier que s'écoulera la presque totalité du courant.

Deuxième cas. Le bureau Y transmet seul.

194. — Ce que nous avons dit, dans le cas précédent, quand le bureau X transmet seul, le bureau Y restant dans la position de réception, s'applique exactement au cas où ce dernier transmet au s'écoulera premier dans les mêmes conditions.

SECTION IV.

Transmission duplex.

195. — Lorsque les bureaux X et Y mettent en même temps leurs manipulateurs sur le contact d'émission, les circuits de ces bureaux ne sont plus dans les conditions d'équilibre du pont au *point de vue électrique* : l'envoi simultané du courant sur la ligne par les deux correspondants a pour effet de rompre l'équilibre des potentiels entre les points B et D et B' et D'. En effet, les piles P et P' étant identiques, les courants qu'elles produisent sont égaux ; chacun de ces courants se partage en deux parties ou courants : le courant de *ligne* et le courant *local*. Le courant de ligne de X, arrivé au point B, et celui de Y parvenu au point B' étant égaux et contraires, se neutralisent ou s'annulent sur la ligne qui relie ces deux points.

Par suite, les points B et D au bureau X, et B' et D' au bureau Y, ne sont plus au même potentiel : donc le courant local de chaque bureau passera dans la diagonale ou le pont BRD du bureau X et le pont B'K'D' du bureau Y (fig. 38); et, dans chaque bureau, le récepteur sera actionné. Dans chacun d'eux, les signaux seront formés, comme dans le mode différentiel, sous l'influence du courant de leur propre pile.

196. — Par le pont de Wheatstone, on obtient donc le même résultat que par le différentiel : l'inaction du récepteur pendant le passage du courant du départ, si la transmission est simple ; et son

mouvement par ce même courant et sous l'influence du courant d'arrivée, quand la transmission est simultanée entre les deux bureaux correspondants (10).

197. — Examinons le cas où les bureaux correspondants intervertiraient les pôles de leurs piles, l'un X, par exemple, faisant usage du pôle positif et l'autre du pôle négatif.

Supposons que les deux bureaux se mettent en même temps sur le contact d'émission. Au bureau X, le courant, arrivé au point A, se trouve en présence de la ligne locale et de la ligne principale.

Admettons que ces deux circuits aient la même résistance, mais ils ne sauraient avoir le même potentiel. En effet, si le potentiel au point A est V, il sera — V au point A' de la ligne principale qui, par hypothèse, communique avec le pôle négatif de la pile au bureau Y, et celui de la ligne locale au point T est zéro : donc, la différence de potentiel entre A et A' sera $V - (-V) = 2V$, tandis qu'entre A et T (extrémité de la ligne locale au bureau X) elle sera de $V - 0 = V$.

Les deux branches du pont, formées par la ligne réelle et la ligne locale, ne sont donc pas au même potentiel et l'*équilibre du pont* n'existe plus (179). Par suite, le point B dans la branche supérieure, et le point D dans la branche inférieure, qui se correspondent dans le pont, ne sont plus au même potentiel : donc le pont sera parcouru par un courant qui actionnera le récepteur R (179).

Ce courant est l'excès du courant de ligne sur celui qui suit la ligne locale. En effet, l'*intensité* du courant d'un circuit est *proportionnelle* à la *différence de potentiel* qui existe entre les deux extrémités de ce circuit et en raison inverse de la résistance (172, 2°). Or, la différence du potentiel entre A et A' est double de celle qui existe entre A et l'extrémité de la ligne locale ADr^4r^5T : donc, faisant abstraction de la résistance qui, par hypothèse, est la même pour la ligne réelle et la ligne locale, l'intensité du courant qui suivra la première sera double de celui qui circulera dans la ligne locale (*a*).

(*a*) D'ailleurs, soit R la résistance commune aux deux circuits, I l'intensité du courant de ligne et I' celle du courant local, nous aurons pour le premier courant

Par des considérations analogues, nous prouverions que l'*équilibre électrique* est également rompu dans le circuit du bureau Y, et que le pont que comporte ce circuit sera le siège d'un courant, qui mettra le récepteur R' en mouvement.

SECTION V.

Emploi des piles.

---

198. — Ce que nous avons dit de l'usage des piles pour le différentiel, s'applique également sur la manière de les utiliser dans le duplex-pont; de sorte qu'on peut employer dans chaque bureau l'un ou l'autre pôle de la pile, et qu'il est indifférent que les piles aient ou n'aient pas le même potentiel (82 à 92).

Au surplus, si l'application du duplex par le pont exigeait des piles au même potentiel, son succès serait difficile à réaliser : le potentiel des piles, en effet, est sujet à de nombreuses variations; elles résultent des modifications qui surviennent sans cesse dans la composition intérieure des piles sous l'influence de causes très-diverses; ajoutons que la résistance des lignes subit également de nombreuses variations dues à l'humidité et aux changements fréquents de température qui affectent l'isolement des lignes, et influent sur le courant qui les parcourt.

$$\frac{2\ V}{R} = I, \text{ ou } 2\ V = I\ R;$$

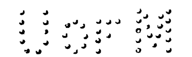
pour le second,

$$\frac{V}{R} = I', \text{ ou } V = I'R;$$

d'où

$$\frac{2\ V}{V} = \frac{I\ R}{I'R}, \text{ ou } 2 = \frac{I}{I'} = 2\ I' = I, \text{ ou } I = 2\ I'.$$

Donc l'intensité du courant de ligne est double de celle du courant local.



SECTION VI.

Réglage des circuits et des condensateurs.

199. — L'installation en duplex indiqué au n° 188 comporte un circuit dérivé BGD ou B'G'D', qui est utilisé au moyen de l'interrupteur K ou K' pour régler l'équilibre des résistances des deux branches du pont.

On opère, à cet effet, comme pour le différentiel, en faisant varier la résistance des rhéostats jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre G ou G' reste au zéro.

Ce circuit joue le même rôle que le pont et a les mêmes propriétés.

Quant à l'usage des condensateurs, il est le même que celui qui a été exposé pour le différentiel, et leur réglage s'effectue de la même manière.



CHAPITRE III

Applications.

SECTION I.

Installation et fonctionnement du service.

200. — La figure 39 représente, dans l'un des bureaux correspondants, les dispositions qui conviennent à l'installation d'un appareil quelconque en duplex, basée sur le principe du pont de Wheatstone; l'autre bureau étant symétriquement disposé, il nous paraît inutile d'indiquer son installation.

Un des pôles de la pile P, le pôle positif, par exemple, est relié au manipulateur M et l'autre à la terre.

Le manipulateur M est relié au point A, d'où se dégagent les deux branches AB et AD, entre lesquelles se trouve le pont BGD; les deux autres branches comprennent l'une la ligne et le bureau correspondant ou BX, et l'autre la ligne locale DR*h*T, et la ligne de compensation DCT.

Un commutateur *c*, intercalé dans le pont, permet de mettre à volonté le point B en communication avec le galvanomètre G et le point D, ou le récepteur R*r*.

Dans la ligne locale, R*h* figure le rhéostat, et, dans la ligne de compensation, C représente le condensateur.

201. — Pour régler l'équilibre des résistances entre la ligne réelle et la ligne locale, on porte la manette du commutateur *c* sur le point *a*, et l'on fait varier ensuite la résistance du rhéostat R*h* jusqu'à ce que le galvanomètre G reste au zéro (199). On y parvient généralement quand les résistances de la branche AB et la ligne réelle d'une part et la branche AD et la ligne locale d'autre part, sont dans le rapport de 2 à 1 ou de 3 à 2 (183 et 187).

202. — Puis on passe au réglage du condensateur C, d'après les procédés précédemment indiqués (199), et dont l'emploi, inutile sur les petites lignes ou les lignes moyennes, est indispensable

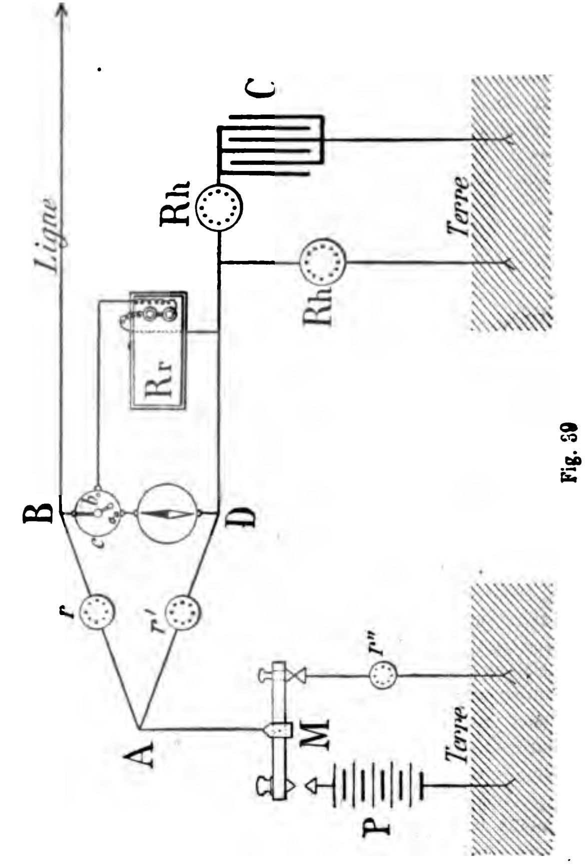


Fig. 39

sur les grandes lignes pour compenser les effets de charge et de décharge (118 à 122).

Le réglage terminé, on remet le récepteur Rr dans le circuit du

pont, en portant la manette du commutateur *c* sur le point *b*; les correspondants échangent ensuite des signaux à titre d'essai; et, s'il y a lieu, passent immédiatement après au service des transmissions.

203. — On pourrait, dans cette installation, substituer le récepteur R*r* au galvanomètre G. Dans ce cas, il faudrait y ajouter un circuit auxiliaire analogue à celui qui est indiqué dans la figure 33 (185), pour régler l'équilibre des résistances dans les diverses parties du circuit (199). Quant au manipulateur M, il varie naturellement avec le genre d'appareil dont on fait usage.

204. — Pour les règles de service, il faut se reporter à ce que nous avons dit précédemment à ce sujet (125 et suivants).

SECTION II.

Le différentiel et pont comparés.

205. — Il résulte de l'exposition que nous avons faite des deux systèmes de transmission duplex le *différentiel* et le *pont*, que la partie du courant envoyée sur la ligne est égale à la moitié du courant fourni par la pile, dans le premier cas, et, au tiers environ dans le second.

Mais il faut remarquer que le courant se partage au départ entre la ligne réelle et la ligne locale, que nous pouvons considérer comme une dérivation de la ligne réelle. Or, une dérivation équivaut à une diminution de la résistance de la ligne réelle; et, par suite, à une augmentation de l'intensité du courant: donc, la partie du courant utilisée sur la ligne dépasse la quantité précédente par l'emploi de l'un ou de l'autre système.

206. — Remarquons encore que dans l'usage du système différentiel le courant n'agit que sur une bobine de l'électro-aimant du récepteur, tandis que son action s'exerce sur les deux bobines dans

le système du pont, et produit, par conséquent, un effet double du précédent.

Les deux systèmes sont donc à peu près équivalents au point de vue des effets électriques.

Rigoureusement la comparaison serait en faveur du différentiel, et son emploi sur les grandes lignes est préférable au pont, tandis que ce dernier peut être avantageusement substitué au premier sur les petites lignes ou les lignes moyennes sur lesquelles il donne les meilleurs résultats.

TROISIÈME PARTIE

LIGNES SOUTERRAINES OU SOUS-MARINES

CHAPITRE PREMIER

Notions préliminaires.

SECTION I.

Considérations générales.

207. — Dès que la télégraphie en duplex fut reconnue possible sur les lignes aériennes, de nombreux essais furent immédiatement tentés pour l'application de ce système aux lignes sous-marines.

Il est clair, en effet, que si ce nouveau mode de transmission double le rendement des lignes existantes, il permet en même temps l'économie de conducteurs nouveaux. Si ces avantages sont très appréciables sous le rapport du réseau aérien, ils deviennent considérablement bien plus précieux au point de vue des lignes sous-marines, dont l'établissement revient à des prix très élevés, et se trouve exposé à de plus grandes chances d'avaries ou de destruction.

208. — **Avant d'exposer les moyens employés à cet effet, nous allons dire quelques mots sur les piles et les appareils utilisés pour l'exploitation télégraphique de ces lignes.**

SECTION II.

Emploi des piles.

I. — Chaleur dégagée dans les piles.

209. — L'étude des piles prouve que les réactions chimiques qui s'opèrent entre les matières hétérogènes qui entrent dans la composition de leurs éléments, dégagent de la chaleur en même temps que de l'électricité.

Si l'on réunit les deux pôles d'une pile avec un conducteur, formant ainsi le circuit extérieur, on constate alors un double phénomène : 1° Un courant ou transport d'électricité se produit du pôle positif au pôle négatif; 2° ce courant distribue dans les diverses parties du conducteur la chaleur produite par la pile proportionnellement à la résistance du circuit.

210. — Le courant ne crée donc pas sa chaleur; il lui sert seulement de véhicule du point où il commence à celui où il finit.

Plus le circuit est court et peu résistant plus la chaleur produite par les réactions se concentre dans la pile; plus il est long et résistant, plus la chaleur qui se dégage de la pile est considérable.

II. — Effets calorifiques du courant sur les lignes.

211. — Nous pouvons justifier par des expériences très simples les propriétés *calorifiques* des courants.

Par exemple, quand on manœuvre le manipulateur Morse, on observe fréquemment des étincelles en plein jour en passant de la

position d'émission à celle de réception; ces étincelles sont naturellement plus brillantes si l'on opère dans l'obscurité.

212. — Avec des piles puissantes, si l'on dirige le courant sur un conducteur métallique plus ou moins fin, celui-ci s'échauffe, devient incandescent, se fond, ou même se volatilise; la couleur de la lumière qui en résulte varie avec la nature du métal : ainsi la lumière produite par la volatilisation d'un fil de cuivre ou d'argent est verte; celle du zinc est mêlée de blanc et de rouge; celle de l'étain est bleuâtre, etc.

213. — Si le circuit que parcourt le courant est composé de fils métalliques de même diamètre et de même longueur, mais de nature différente, on constate que les fils dont la résistance est plus grande s'échauffent davantage.

214. — Enfin si le circuit est formé de fils métalliques de même longueur, de même nature, mais de diamètre différent, les fils fins rougissent au passage du courant, tandis que les gros fils s'échauffent à peine, parce que la résistance des premiers est plus grande que celle des seconds.

215. — Ajoutons que la température des fils dans les expériences qui viennent d'être indiquées s'élève beaucoup plus au passage du courant, si les fils sont recouverts d'une enveloppe isolante au lieu d'être nus.

III. — Précautions relatives à l'emploi des piles.

216. — Les conducteurs des lignes télégraphiques peuvent être comparés à des fils très fins, lorsque, par le fait d'un orage, la foudre vient les toucher : les conducteurs deviennent brusquement incandescents et se fondent ou se volatilisent souvent aux points de contact.

217. — Nous devons conclure, des expériences qui précèdent, que le courant de piles trop puissantes pourrait élever la température des conducteurs des lignes aériennes, et, par l'effet de cet

échauffement, les oxyder sur certains points, les rendre impropres au service, et même en préparer la rupture.

218. — Mais c'est principalement sur les conducteurs des câbles que ce danger serait à craindre, puisque les effets calorifiques du courant y deviendraient bien plus sensibles (215).

C'est pour éviter ces inconvénients qu'on fait usage de piles très faibles avec des appareils spéciaux dans l'exploitation des lignes sous-marines. Ces appareils, extrêmement sensibles, obéissent à des courants beaucoup moins forts que ceux qui sont nécessaires pour actionner les appareils employés sur les lignes aériennes.

L'emploi de piles faibles offre, en outre, l'avantage de diminuer les effets d'induction qui se manifestent sur les lignes sous-marines, ainsi que nous le verrons plus loin.

SECTION III.

Appareils.

219. — Le *galvanomètre* à *miroir* et le *recorder* sont les appareils généralement en usage sur les lignes sous-marines.

220. — Pour la description complète de ces appareils, qui ne rentre pas dans notre cadre, nous renvoyons nos lecteurs aux ouvrages spéciaux de Télégraphie.

Nous allons seulement en faire connaître les parties essentielles, leur principe et leur usage.

I. — Manipulateur.

221. — Le *manipulateur* est disposé de manière à pouvoir utiliser alternativement le courant positif et le courant négatif, c'est-à-dire les changements de *sens* d'un courant de pile en même temps que leur *nombre;* il est appelé, pour cette raison, *manipulateur inverseur*.

Le changement de sens du courant a le triple avantage sur les lignes sous-marines de fovoriser la décharge du câble, d'accélérer l'envoi des signaux, et d'obtenir des transmissions plus nettes, plus régulières.

222. — Il se compose de deux lames de cuivre LA et TB, fixées sur un bloc en ébonite E, et reliées, la première à la ligne, et la seconde à la terre. Elles se terminent par des boutons A et B, qui permettent de les abaisser sous la pression de la main (fig. 40).

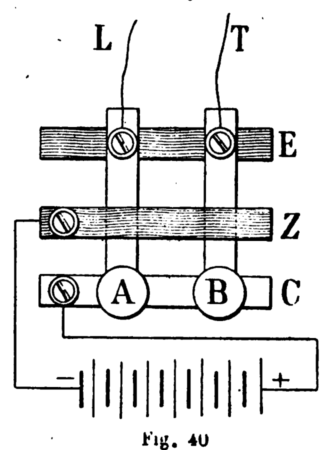


Fig. 40

Quand elles sont au repos, elles butent contre une bande de cuivre *z*, qui communique avec le pôle négatif de la pile. Si l'on abaisse l'une ou l'autre des deux lames, elle vient buter sur un contact de la lame *c*, qui est reliée au pôle positif de la pile, et ferme le circuit.

223. — D'où il résulte que, si l'on presse le bouton A, par exemple, la lame LA cesse de toucher la bande *z*, et le courant positif est dirigé sur la ligne, pendant que la lame TB bute contre la bande *z*, et met le pôle négatif à la terre.

Si, au contraire, on presse le bouton B, c'est le courant positif qui est à la terre, tandis que le courant négatif va sur la ligne.

On peut donc, en appuyant sur l'un ou l'autre bouton, envoyer à volonté sur la ligne une série de courants du même *sens* ou de *sens inverse*, et les transformer en signaux à l'aide de récepteurs convenablement disposés à cet effet, comme ceux dont nous allons parler.

II. — Galvanomètre à miroir.

224. — Le *galvanomètre à miroir*, dû à sir W. Thomson, est ainsi appelé parce qu'au centre du cadre circulaire qui le compose se trouve suspendu un petit miroir fixé à un petit barreau aimanté (fig. 41).

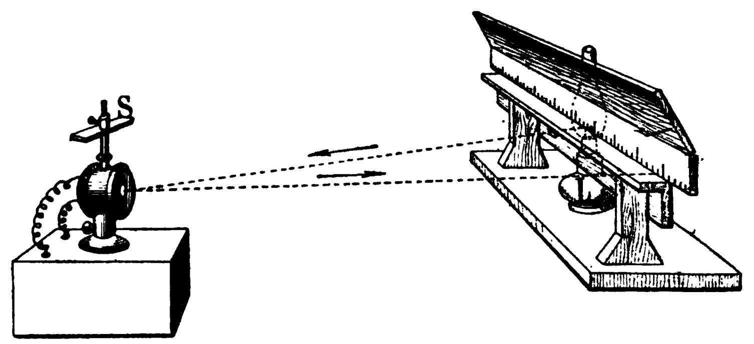


Fig. 41

225. — Quand le courant vient à passer dans le fil conducteur qui enveloppe le cadre, le miroir dévie à droite ou à gauche, suivant le sens du courant, en réfléchissant un rayon lumineux reçu d'une lampe placée un peu plus loin (1 mètre de distance environ). Ce rayon vient tomber sur une échelle horizontale derrière laquelle se trouve la lampe.

226. — Dans la Télégraphie, ces déviations représentent les signaux au moyen desquels on effectue les transmissions. On est convenu à cet effet que les déviations à gauche de l'écran repré-

sente les points de l'alphabet Morse, et les déviations à droite les traits.

227.—Cet appareil fonctionne très bien sur les petites lignes ou les lignes moyennes sous-marines. Mais il offre un double inconvénient : par suite de son extrême sensibilité, son application sur les grandes lignes sous-marines exige une installation très compliquée avec l'emploi de condensateurs destinés à combattre les effets de charge et de décharge, et l'influence très sensible des courants d'induction. En outre, ses signaux sont fugitifs ou optiques; ils offrent par suite des difficultés de lecture, et exigent une grande attention.

Pour éviter ces inconvénients, on emploie sur beaucoup de lignes sous-marines l'appareil du même inventeur, connu sous le nom de *siphon recorder*, ou simplement *recorder*.

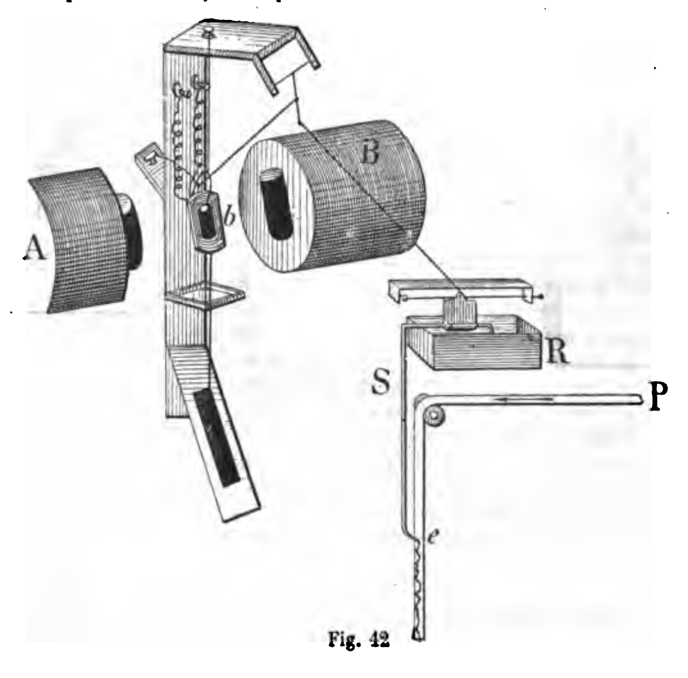


Fig. 42

III. — Recorder.

228. — Le *recorder* est employé de préférence au galvanomètre à miroir, parce qu'il offre l'avantage d'écrire les signaux sur une bande de papier, qui se meut à l'aide d'un mouvement d'horlogerie.

Cet appareil se compose d'une bobine *b*, librement suspendue entre les deux bobines A et B d'un fort électro-aimant, et qui, sous l'action de courants alternatifs, tourne dans un sens ou dans le sens opposé. Dans ses mouvements brusques et très nets, elle entraîne avec elle un tube de verre très fin en forme de siphon S, dont une extrémité plonge dans un réservoir R contenant de l'encre électrisée, et qui, par l'extrémité opposée, peut se mouvoir librement au-dessus de la bande de papier P, destinée à recevoir les signaux qu'elle y forme, comme l'indique la figure 42.

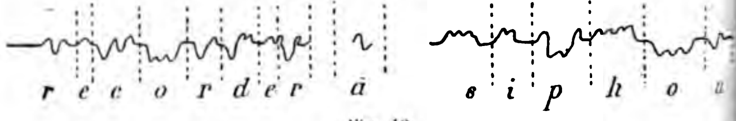


Fig. 43

La valeur des signaux repose sur la convention suivante ; le siphon trace sur la bande une ligne dont les sinuosités sont tantôt à droite et tantôt à gauche de la ligne médiane qu'on peut imaginer sur la bande dans le sens de sa longueur. Donc, si l'on convient que les sinuosités situées à *gauche* de cette ligne représentent les *points*, et celles qui sont à *droite* les *traits* (fig. 43), on réalise ainsi un système de correspondance analogue à celui de l'alphabet Morse.

CHAPITRE II

Transmissions duplex et applications

SECTION I.

Système Ailhaud.

I. — Installation.

229. — C'est à M. Ailhaud, inspecteur général des télégraphes, que revient l'honneur d'avoir été le premier à expérimenter avec succès ce nouveau mode de transmission sur le câble qui relie Marseille et Alger.

230. — L'appareil employé sur ce câble, pour l'échange des transmissions simples, était le galvanomètre à miroir, dont nous avons exposé plus haut (224 à 227) les principes et l'usage.

Le même appareil a été utilisé pour le service duplex, et placé au centre du pont établi à cet effet. Mais, dans le cas qui nous occupe, le circuit qui environne le miroir, est double ou différentiel, c'est-à-dire formé de deux conducteurs disposés en sens inverse (fig. 44) : l'un communique avec le câble *c*RL, et avec la terre *d*R'''; l'autre, *b*, est intercalé dans la ligne locale.

231. — La figure 43 représente cette installation :

P figure la pile;

M, le manipulateur inverseur (221);

A et B, les branches du pont sur lesquelles sont intercalées des résistances, telles que le rapport $\frac{A}{B} = \frac{2000}{1000}$ ohms;

G, le galvanomètre à miroir, dont *a* et *b* forment les deux circuits;

R est une résistance variable de 800 à 1000 ohms intercalée devant le câble : elle a pour but de faciliter le réglage en modérant la vitesse avec laquelle s'effectue la charge du câble;

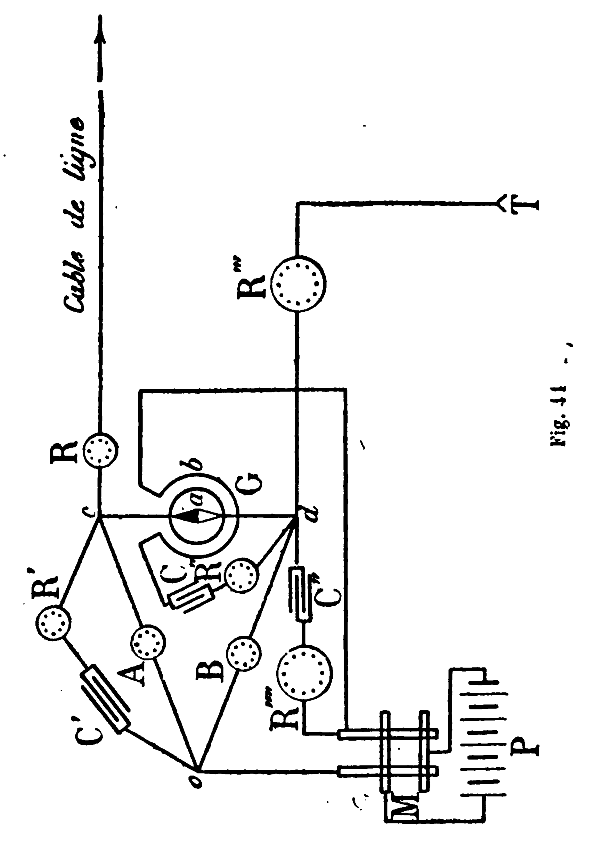


Fig. 41

R''' est la résistance de la ligne locale, et telle que :

$$\frac{R'''}{R + \text{résistance du câble} + \text{la résistance à l'autre extrémité}} = \frac{B}{A} = \frac{10}{20}$$

C est un condensateur d'environ 20 microfarads : l'une de ses armatures communique avec le circuit *a* du galvanomètre, et l'autre avec la terre, à travers la résistance R'', qui sert à régler le condensateur.

Cette installation est une heureuse application du système différentiel et du pont combinés.

232. — Quand on met le manipulateur dans la position d'émission, le galvanomètre G est parcouru par deux courants : celui de pile passe par le circuit *a*, d'où il se dirige vers le câble, et un courant *induit*, dû au passage du courant de pile, traverse le circuit *b* en sens inverse de ce dernier.

Si le condensateur est bien réglé, il prend une charge équivalente à celle de la ligne. Les effets des deux courants étant égaux et contraires, se détruisent réciproquement. et le miroir du galvanomètre reste immobile.

Quand le manipulateur revient à la position de réception, les courants de retour, produits par la décharge du câble et celle du condensateur C, parcourent encore les deux circuits du galvanomètre G, mais en sens inverse et opposé à celui de la charge, de sorte que l'effet de l'un est encore détruit par celui de l'autre.

II. — Réglage.

233. — Si, après avoir disposé le condensateur C, dans les conditions indiquées plus haut (231), il se produit encore des vibrations au miroir, on parvient à les faire disparaître en ajoutant deux circuits auxilaires comprenant les condensateurs C' et C'' et les résistances R' et R'''', qui servent à les régler.

On donne ordinairement au condensateur C' une capacité de 12 à 15 microfarads et de 2 à 3 microfarads au condensateur C''.

Quant à la manière dont ils se chargent et se déchargent, il suffit d'observer leur position dans la figure, ou l'installation qu'elle représente, pour s'en rendre compte. Leur emploi a pour but de compléter les effets du condensateur C, dont le rôle est de compenser la charge et la décharge de la ligne.

234. — L'équilibre des résistances du câble et de la ligne locale s'obtient au moyen de la résistance R'''.

A cet effet, on envoie le courant sur la ligne et l'on fait varier cette résistance jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre reste à peu près à zéro.

Le repos à peu près complet de l'aiguille dépend du bon réglage des condensateurs, qui constituent la ligne de *compensation*, ainsi appelée, avons-nous dit (77), parce que son rôle est de faire équilibre aux effets de charge et de décharge du câble. C'est, d'ailleurs, de cet équilibre que dépend en général le duplex.

On met d'abord hors du circuit les condensateurs C et C'', puis on règle le condensateur C, en faisant varier la résistance R'', jusqu'à ce que l'aiguille reste à peu près insensible au passage du courant; ensuite, on remet dans le circuit les condensateurs C' et C'', que l'on règle à l'aide des résistances respectives R' et R'''.

On réalise généralement ainsi un équilibre complet des circuits.

Si ces dispositions laissent à désirer, on peut encore améliorer l'installation en y apportant quelques légères modifications, assez simples d'ailleurs, pour rendre le fonctionnement du service aussi satisfaisant que possible.

SECTION II.

Système Muirhead.

I. — Notions générales.

235. — Si le système de M. Ailhaud fonctionne avec succès sur les lignes moyennes, son application aux grandes lignes sous-marines serait exposée à quelques difficultés, par suite des variations de courant qui s'y manifestent. Elles résultent de l'imperfection des moyens employés pour établir une parfaite similitude entre la ligne locale et le câble.

236. — Nous avons déjà remarqué, en parlant des diverses pha que subit le courant (47 et suivants), que si les effets de charge (de décharge n'ont pas d'action nuisible sur les transmissions sii ples ou en duplex sur les petites lignes ou les lignes moyennes a

riennes, il n'en est pas ainsi sur les grandes lignes, où ces phénomènes jouent un certain rôle.

Mais c'est principalement sur les lignes souterraines et sous-marines qu'ils deviennent très-sensibles, par suite des conditions spéciales de ces lignes.

237. — Si nous examinions, en effet, la composition d'un câble (fig. 45), nous voyons que le conducteur *c* est entouré d'une matière isolante de gutta-percha ou de caoutchouc *a*, et d'une gaîne

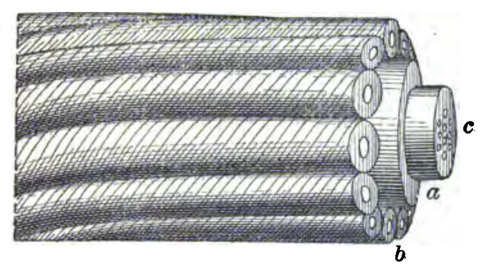


Fig. 45

métallique *b*, ou de fils de fer, destinés à protéger l'enveloppe isolante contre l'usure due aux frottements, quand le câble est placé dans l'eau.

238. — Aussi, dès qu'un câble est mis en contact avec le pôle d'une pile, des effets d'induction se manifestent et le câble joue, alors, le rôle d'un véritable *condensateur* : le conducteur est l'enveloppe extérieure du câble font l'office d'*armatures*, et la matière isolante joue le rôle de *diélectrique* ou *lame isolante*; de sorte que l'électricité qui parcourt un câble y produit deux états électriques opposés, entre lesquels il s'exerce une certaine attraction, qui a pour effet de condenser l'électricité à chacun des points du conducteur du câble.

Cette condensation augmente considérablement sa charge, et retarde, par suite, l'écoulement régulier de l'électricité, ou, en d'autres termes, augmente la période variable de charge.

239. — La charge d'un câble dépend encore de la nature et de

la quantité de la matière isolante, de la distance des armatures, et du potentiel de la pile ou source électrique.

240. — En outre, à la condensation que produit l'induction, vient s'ajouter un autre phénomène.

Quand un courant parcourt un câble, l'électricité, ralentie dans son mouvement par l'effet de l'induction, pénètre peu à peu dans l'enveloppe isolante et ne tarde pas à donner naissance à un *courant secondaire* bien faible, mais préjudiciable au courant principal, qui s'établit entre l'*âme* du conducteur du câble et son armature; ce courant se perd dans l'eau ou le sol, selon que la ligne est sous-marine ou souterraine.

241. — Dès que la communication de la pile avec le câble est interrompue, la décharge du conducteur s'opère, ainsi que celle de la matière isolante qui environne le conducteur.

Mais la décharge de l'enveloppe isolante ne se fait pas de la même manière que celle du conducteur, ni en même temps : une partie de la charge s'écoule dans l'eau ou le sol par l'armature extérieure, et l'autre revient au conducteur, où elle forme un courant secondaire, qui s'ajoute à celui qui résulte de la décharge principale. Le courant secondaire fait suite au courant de décharge et finit donc plus tard; ce retard provient de la résistance que la matière isolante oppose à sa propre décharge et au pouvoir inducteur du câble.

Il en résulte une prolongation dans la période de décharge, qui varie avec la longueur des lignes, et des conditions où elles sont établies.

242. — Il est donc absolument nécessaire, pour le succès des transmissions en duplex, que la ligne locale et celle de compensation soient établies de manière : 1° que les effets des courants de charge et de décharge qui s'y produisent soient égaux à ceux de la ligne ou du câble, pour qu'ils se neutralisent, et n'exercent aucune influence sur le récepteur; 2° que les courants de charge et de décharge, qui parcourent le circuit de ligne et le circuit local, commencent et finissent en même temps; qu'ils conservent pendant leur durée dans les deux circuits la même forme et la même force, c'est à dire qu'ils conservent la même ondulation.

243. — On atteint facilement ce résultat sur les lignes sous-marines et souterraines moyennes, et plus aisément encore sur les

lignes aériennes de longueurs quelconques, en donnant à la ligne locale une résistance égale à celle de la ligne; et, au besoin, en y ajoutant la ligne de compensation, que l'on forme avec un ou plusieurs condensateurs (75, 77 et 79), auxquels on ajoute parfois des bobines d'induction. On les distribue dans le circuit dans l'ordre le plus favorable, en vue de l'effet à produire (81).

244. — Mais ces moyens sont imparfaits ou même insuffisants sur les longues lignes souterraines ou sous-marines.

L'imperfection des moyens employés pour obtenir une analogie aussi complète que possible dans les effets des divers phénomènes qui se produisent sur les circuits, au passage d'un courant, a suggéré à M. John Muirhead l'idée d'une ligne locale particulière, qui est une imitation du câble sous-marin.

Le conducteur de la ligne locale est formé de feuilles d'étain, séparées par des feuilles de papier saturé de paraffine. Les feuilles d'étain sont alternativement, les unes découpées en morceaux réunis bout à bout, et les autres entières.

Dans ce système, chaque partie du conducteur produit des effets d'induction : le papier forme l'armature intérieure d'un condensateur, et la feuille d'étain son armature extérieure, qui communique avec la terre.

On réunit ainsi ces feuilles jusqu'à ce que le tout forme un conducteur de résistance et de capacité nécessaires à l'équilibre des circuits.

Les rubans des feuilles d'étain sont réunis par leurs extrémités, de manière que le courant puisse les traverser d'un bout à l'autre; ils forment le conducteur de la ligne locale; les feuilles d'étain non découpées sont également réunies et mises à la terre.

Dans cette disposition, la ligne locale offre une analogie complète avec la ligne réelle sous le double rapport de la résistance et de la capacité; de sorte que la charge et la décharge des deux lignes deviennent identiques au triple point de vue de la force, de la durée et de leurs effets.

245. — L'application des principes qui précèdent à la construction de la ligne locale ou câble artificiel, comporte de nombreuses modifications, qui varient suivant la nature ou l'état des lignes à à établir ou à desservir.

Par exemple, on peut atteindre le même but, en faisant usage de

matières conductrices et isolantes, autres que celles que nous venons d'indiquer; on peut également varier leur disposition.

Leur mode d'installation peut également se faire de plusieurs manières.

II. — Installation d'un bureau en duplex.

246. — Les installations en duplex sur les câbles sont très variables; néanmoins, elles se rapprochent toutes, plus ou moins, du modèle qui suit, quand les circuits sont établis d'après le principe du pont (fig. 46).

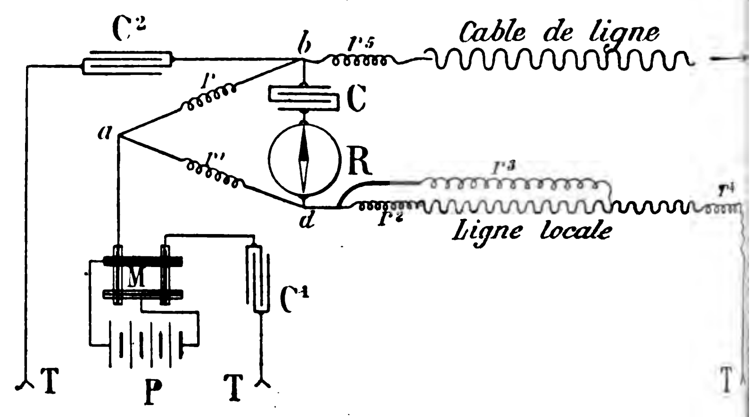


Fig. 46

Les lettres *abd* représentent les branches du pont; *c*, *c¹* et *c²* des condensateurs; L, le câble de ligne; *l*, le câble de la ligne locale avec ses condensateurs; M, le manipulateur inverseur, et *r*, *r¹*. *r²*, *r³*. *r⁴*, *r⁵*, des résistances.

Les rapports des résistances et des capacités sont établis et effetués d'après les règles que nous avons exposées précédemment (16 et suivantes). R représente le récepteur.

247. — Le condensateur C, qui a pour but d'augmenter la capacité du récepteur, peut, dans certains cas, être supprimé ou placé comme l'indique la figure suivante.

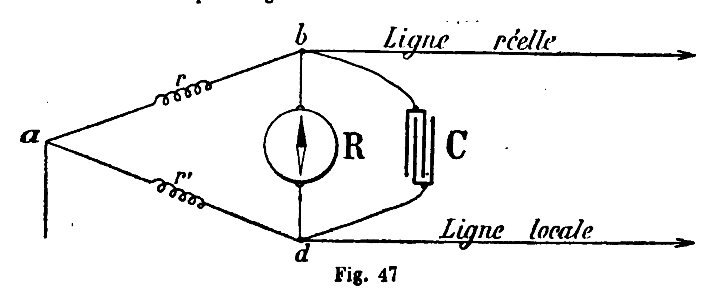


Fig. 47

248. — Pour rendre plus régulier le fonctionnement du récepteur, on peut encore ajouter au condensateur de la ligne locale, un condensateur x de faible résistance (fig. 48).

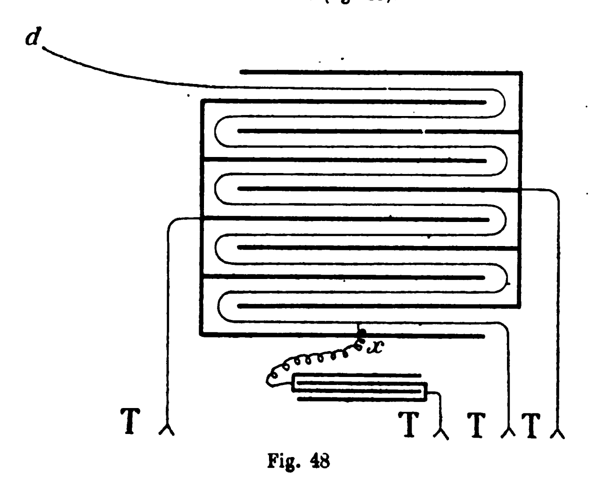


Fig. 48

249. — On peut encore, dans une installation en duplex, isoler les deux bouts du câble de la ligne, en le reliant avec des conden-

sateurs à l'entrée des bureaux, et en ayant soin d'isoler de la même manière la ligne locale (fig. 49).

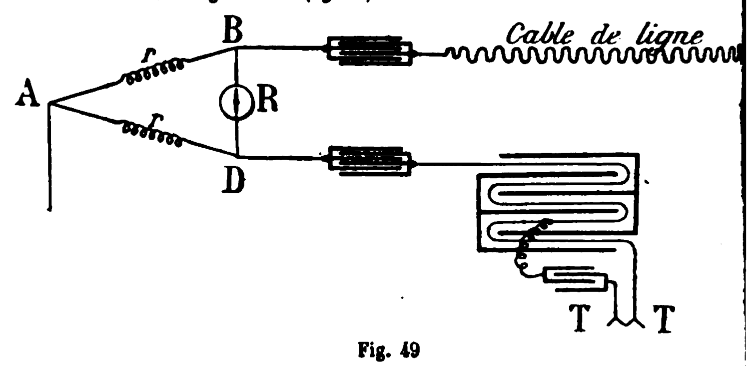


Fig. 49

250. — S'il y a utilité à augmenter la capacité des branches du pont, et des *spires* du récepteur, on peut y parvenir en enroulant le fil des branches, et les spires du récepteur, avec du fil métallique ordinaire recouvert de soie, que l'on enveloppe ensuite avec une bande métallique très mince, enroulée, elle aussi, en spires serrées ou en hélice.

Remarque. — Nous devons ajouter que les améliorations qui précèdent sont applicables aux circuits, que l'installation en duplex soit établie d'après le pont ou le système différentiel.

APPENDICE

I. — Usage des condensateurs.

251. — Plusieurs électriciens ont proposé la suppression des condensateurs dans les installations en duplex; mais, pour y suppléer, ils sont obligés de recourir à d'autres dispositions plus ou moins compliquées. D'ailleurs, l'usage des condensateurs n'offre aucune difficulté, et leur maintien nous paraît préférable aux combinaisons qui entraînent leur suppression, dont les avantages sont encore problématiques.

II. — Divers systèmes duplex.

252. — Dès que le duplex a été reconnu possible, on a cherché le moyen de transmettre simultanément plusieurs télégrammes dans le même sens et en sens contraire, ce qui a donné naissance à de nouveaux systèmes de transmission simultanée.

Aussi on est parvenu à transmettre dans le même sens, et en même temps, d'abord deux télégrammes, et ensuite trois, en perfectionnant ces nouveaux procédés de transmission.

Puis, en cherchant à duplexer chacun de ces deux systèmes, on a réalisé le moyen pratique de transmettre en même temps, et par le même conducteur, d'abord quatre télégrammes, dont deux dans un sens et deux dans le sens contraire, et puis six télégrammes : trois dans la même direction, et trois dans la direction opposée.

Ces deux derniers modes de transmission, qui sont entrés dans la pratique, sont connus sous les noms respectifs de *quadruplex* et *sextuplex*.

Le quadruplex donne de bons résultats en Angleterre et en Amérique, où il est en usage.

Notre cadre restreint ne nous permet pas de décrire ces ingénieux systèmes, qui ne sont d'ailleurs qu'une extension du duplex.

III. — Observations générales.

253. — Bien que nous ayons indiqué les diverses installations théoriques et pratiques du duplex, il ne faudrait pas croire que ce soit les seules que comporte l'application de ce système : elles sont au contraire susceptibles de nombreuses modifications, et, dans chaque cas particulier, elles peuvent donner lieu à plusieurs combinaisons, qu'il serait trop long de discuter ici.

Nous nous sommes borné à l'exposition des plus usuelles.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION

PREMIÈRE PARTIE

MÉTHODE DIFFÉRENTIELLE

CHAPITRE PREMIER

Exposition théorique.

Section I.

Section II.

Transmission simple

SECTION III.

Transmission simultanée.

SECTION IV.

Phénomènes électriques qui accompagnent les transmissions.

SECTION V.

Usage des piles

CHAPITRE II

Applications.

Section I.

Considérations générales.

Section II.

Morse en duplex différentiel.

Section III.

Morse installé en duplex différentiel par bifurcation.

Section IV.

Hughes en duplex différentiel.

CHAPITRE III.

Applications.

SECTION I.

I. — *Installation et fonctionnement du service.*

SECTION II.

Le différentiel et pont comparés.

TROISIÈME PARTIE

LIGNES SOUTERRAINES ET SOUS-MARINES

CHAPITRE PREMIER

Notions préliminaires

SECTION I.

Considérations générales

SECTION II.

Emploi des piles.

SECTION III.

Appareils.

CHAPITRE II.

Transmissions duplex et applications

SECTION I.

Système Ailhaud.

SECTION II.

Système Muirhead.

APPENDICE

E. Bernard & Cie, 71, rue La Condamine, Paris

